



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

“Diseño de un sistema de aire acondicionado por absorción con energía solar para
climatizar la cabina de la Retroexcavadora 420E”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Br. Jaime Bustamante Díaz (ORCID: 0000-0001-7694-8998)

ASESOR:

Mg. James Skinner Celada Padilla (ORCID: 0000-0002-5901-2669)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

CHICLAYO – PERÚ

2019

Dedicatoria

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida.

A mi padre que está en el cielo bendiciendo a toda mi familia, gracias padre.

A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por el conocimiento que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Jaime Bustamante Díaz

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios quien nos dio la vida y me ha llenado de bendiciones en todo este tiempo, a él que con su infinito amor me ha dado la sabiduría suficiente para culminar mi carrera universitaria.

A la universidad Cesar Vallejo filial Chiclayo por albergarnos todo este tiempo de vida profesional.

Jaime Bustamante Díaz

Página del Jurado

Declaratoria de Autenticidad

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Jaime Bustamante Díaz,
estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la
Universidad César Vallejo, identificado con DNI N°, con el trabajo
de investigación titulada, Diseño de un sistema de aire
condicionado por absorción con energía solar para
climatizar la cabina de la Retroexcavadora 420E

Declaro bajo juramento que:

- 1) El trabajo de investigación es mi autoría propia.
- 2) Se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes utilizadas. Por lo tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente.
- 3) El trabajo de investigación no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 4) Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por lo tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De identificarse la falta de fraude (datos falsos), plagio (información sin citar autores), autoplagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (representar falsamente las ideas de otro), asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normalidad vigente de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo 11 de marzo, 2020

Nombres y apellidos
DNI
Firma

Jaime Bustamante Díaz
46806103


Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del Jurado	iv
Declaratoria de Autenticidad	v
Índice	vi
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Trabajos previos.....	3
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	6
1.4 Formulación del problema	13
1.5 Justificación del estudio.....	13
1.6 Hipótesis.	14
1.7 Objetivos.....	14
II. MÉTODO.....	15
2.1 Diseño de investigación.....	15
2.2 Variables, operacionalización.....	15
2.3 Población y muestra.	17
2.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	17
2.5 Aspectos éticos.	18
III. RESULTADOS.....	19
3.1 Cuantificar las cargas térmicas en la cabina de la retroexcavadora a climatizar.....	19

3.2 Realizar un estudio del potencial solar en las zonas donde operan las retroexcavadoras, con información de las estaciones meteorológicas, en cuanto a los niveles de radiación solar.....	25
3.3 Determinar los Parámetros de funcionamiento del sistema de refrigeración con energía solar.....	51
3.4 Diseñar el colector solar (generador) del sistema de aire acondicionado por absorción.	60
3.5 Realizar una evaluación económica, utilizando indicadores tales como VAN, TIR, relación Beneficio- Costo.	64
IV. DISCUSIÓN.....	69
V. CONCLUSIONES	70
VI. RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS	73
Acta de aprobación de originalidad de tesis	77
Reporte Turnitin.....	78
Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV	79
Autorización de versión final del trabajo de investigación.....	80

Índice de Figuras

Figura 1. Comparación de los ciclos de compresión y de absorción.....	7
Figura 2. Proceso de refrigeración por absorción.....	8
Figura 3. Colector solar de placas planas.	10
Figura 4. Radiación solar en colector solar de placas planas.	11
Figura 5. Espectro de la radiación solar	11
Figura 6. Modelos de radiación solar.	12
Figura 7. Transferencia de calor por conducción.	21
Figura 8. Radiación solar kW-h/m2.	51
Figura 9. Condensador.....	52
Figura 10. Evaporador	52
Figura 11. Absor.....	53
Figura 12. Gener.....	54
Figura 13. Circuito de refrigeración por Absorción con energía solar.	54
Figura 14. Evaporador.	57
Figura 15. Absor.....	58
Figura 16. Qgen.	59
Figura 17. Condensador.....	60
Figura 18. Gener.....	60
Figura 19. Energía solar incidente.	62

Índice de Tablas

Tabla 1. Valores promedio de condiciones ambientales.	20
Tabla 2. Cálculo de carga térmica en cabina de retroexcavadora.	24
Tabla 3. Nivel de radiación solar kw-h/m2. estación regional Lambayeque.	25
Tabla 4. Nivel de radiación solar km-h/m2. estación regional Piura.	27
Tabla 5. Nivel de radiación solar kW-h/m2. estación regional la libertad.	28
Tabla 6. Nivel de radiación solar kW-h/m2. estación región Cajamarca.	29
Tabla 7. Nivel de radiación kW-h/m2.	32
Tabla 8. Nivel de radiación kW-h/m2.	34
Tabla 9. Nivel de radiación kW/m2.....	36
Tabla 10. Nivel de radiación kW-h/m2	38
Tabla 11. Método probabilístico de Weibull.	39
Tabla 12. Radiación solar kw-h/m2-probabilidad.	50
Tabla 13. Estado termodinámico en la máquina de absorción.	55
Tabla 14. Entalpia en estado termodinámicos.	57
Tabla 15. Termodinámico.....	58
Tabla 16. Termodinámica.....	59
Tabla 17: Termodinámica.....	60
Tabla 18. Costo de la inversión.	64
Tabla 19. Flujo de la caja del proyecto de inversión.	65
Tabla 20. Calculo del valor actual neto.	66
Tabla 21. Cálculo de la tasa interna de retorno.	67
Tabla 22. Relación beneficio costo.....	68

RESUMEN

La presente tesis denominada: “Diseño de un sistema de aire acondicionado por absorción con energía solar para climatizar la cabina de la Retroexcavadora 420E”, es un proyecto de investigación en el sector de maquinaria pesada, y tiene como objeto de estudio el aprovechamiento de la energía solar como fuente de energía del sistema de aire acondicionado de la retroexcavadora 420E.

La investigación se inicia con la determinación de la carga térmica que se requiere en el interior de la cabina, con la finalidad de obtener confort al conductor de la unidad, quien labora en condiciones de temperatura alta, contaminación de sólidos disueltos en el aire, humedad relativa y ruidos; se determinó que se requiere de 3069 Watt térmicos que se debe extraer desde el interior de la cabina, su equivalente a 10471 BTU/hora.

Luego se hizo el análisis del potencial de radiación solar en la zona de influencia en dónde se ubican las retroexcavadoras 420E, que son en la costa Norte del Perú, en el cual se elaboró el análisis de los valores de radiación solar, y mediante el análisis probabilístico de Weibull, se determinó un valor de 5.68 KW-h/m², con un nivel de ocurrencia del 67%, entre las 09.00 y 15.00 horas del día, que son las horas de uso del sistema de aire acondicionado, debido a que las temperaturas máximas en la estación de verano oscilan entre los 34° Centígrados.

Así mismo se hizo el análisis termodinámico de cada elemento del sistema por absorción; el calor en el evaporador es el calor extraído del interior de la cabina de 3069 Watt, el calor en el absolvedor es de 4850 Watt de potencia térmica. El calor que se requiere en el generador es de 6850 Watt y es el calor que se obtiene en el colector solar ubicado en la parte superior de la cabina de la retroexcavadora, y el calor en el condensador es de 3869 Watt que se disipa al exterior.

Finalmente se hizo el análisis económico y se determinó que el valor de la inversión asciende a 2890 Soles, y en el periodo de 12 meses se tiene un valor actual neto de 511,38 y una tasa interna de retorno de 5.84%, valores que hacen factible la ejecución del proyecto.

Palabras claves: Absorción, Energía Solar, Retroexcavadora 420E.

ABSTRACT

The present thesis denominated: "Design of a system of air conditioned by absorption with solar energy to climate the cabin of the Retro excavator 420E", is a research project in the sector of heavy machinery, and has as object of study the use of the solar energy as a power source for the air conditioning system of the 420 E backhoe.

The investigation begins with the determination of the thermal load that is required in the interior of the cabin, with the purpose of obtaining comfort to the driver of the unit, who works under conditions of high temperature, contamination of dissolved solids in the air, humidity relative and noises; it was determined that 3069 Watt thermal is required that must be extracted from inside the cabin, its equivalent to 10471 BTU / hour.

Then, the analysis of the solar radiation potential in the area of influence where the 420E backhoe loaders are located, which is the one in the North coast of Peru, in which the analysis of solar radiation values was made, and by In the Weibull probabilistic analysis, a value of 5.68 KW-h / m² was determined, with an occurrence level of 67%, between 09.00 and 15.00 hours of the day, which are the hours of use of the air conditioning system, due to the that the maximum temperatures in the summer season oscillate between 34 ° Celsius.

Likewise, the thermodynamic analysis of each element of the system by absorption was made; the heat in the evaporator is the heat extracted from the interior of the cabin of 3944 Watt, the heat in the absorber is 4850 Watt of thermal power. The heat that is required in the generator is 6850 Watt and is the heat that is obtained in the solar collector located in the upper part of the cabin of the backhoe, and the heat in the condenser is 3869 Watt that dissipates to the outside.

Finally, the economic analysis was made and it was determined that the value of the investment amounts to 2890 Soles, and in the period of 12 months there is a net present value of 511.38 and an internal rate of return of 5.84%, values that make feasible the execution of the project.

Keywords: Absorption, Solar Energy, 420E Backhoe.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

1.1.1 A nivel internacional

“[...] Los operadores de maquinaria en el mundo, están sometidos muchas veces a condiciones de trabajo extremo, es decir soportar temperaturas muy bajas o muy altas, contaminación de polvos disueltos en el aire, lo cual atenta contra la seguridad y salud ocupacional” (García, 2016, p.4)

En Países de América Latina, en dónde el uso de la maquinaria sólo es exclusivo de empresas formales, y mientras en el ámbito informal, se cuenta con maquinaria que no reúne las condiciones mínimas de seguridad para la labor del conductor; en Bolivia se tiene reportes crecientes de accidentes por tener condiciones no apropiadas para la labor de los maquinistas; en Venezuela, maquinaria pesada, han salido de operación debido a que no cuentan con sistemas de aire acondicionado.

“El incremento de la demanda del sistema de aire acondicionado puede calentar nuestro [...] planeta aún más en los próximos años” (Chris Baraniuk, 2018, p.2).

“Al mismo tiempo la energía que consume los sistemas de aire acondicionado será 3 veces más en 30 años, lo cual incrementa el consumo de energía eléctrica y de combustible” (Chris Baraniuk, 2018, p.4).

En las unidades móviles, tanto vehículos como maquinaria pesada para el sector minero, es casi de uso obligatorio el aire acondicionado, sobre todo en temporadas en donde la temperatura es alta o extremadamente baja, como es el caso de algunas zonas desérticas; el sistema de aire acondicionado consume una cantidad adicional de combustible del motor, que está alrededor de entre el 15 al 30%. (Hurtado, 2016, p.6).

En Delhi (India) donde la temperatura del ambiente alcanza muchas veces los 50 grados centígrados, el aire acondicionado es esencial, tanto en las viviendas como en las unidades móviles. Se prevé que los usuarios en sus proyectos y programaciones de gastos, incluyen de manera obligatoria el consumo de combustible o de energía eléctrica.

China

“[...] Los sistemas de aire acondicionado en la maquinaria pesada es de uso obligatorio para garantizar el trabajo del operador, bajo las condiciones extremas de operación, que muchos casos superan los 50°C” (Koo, 2015, p.6).

La China, el país más grande del mundo, se ha convertido por ahora en el exportador de equipos de aire acondicionado, los cuales tienen principios de funcionamiento como es el del ciclo por compresión de vapor, ciclo por absorción, los cuales para su accionamiento requieren de una cantidad de energía, ya sea mecánica o térmica; sin embargo, el tiempo de vida de estos equipos no son de largo plazo, con lo cual el reemplazo de los componentes es cada vez en periodos más cortos. (Koo, 2015, p.6).

México

“En los fundos agrícolas, las retroexcavadoras, tienen en su equipamiento un sistema de aire acondicionado, que hace más comfortable la labor del maquinista, durante las horas del día” (Pérez, 2016, p.6).

En las zonas en donde operan la maquinaria pesada, son de climas extremos en diferentes regiones de México, con temperaturas de -5°C, hasta temperaturas de 45°C, lo cual hace que muchas veces los operarios no realicen de manera continua la jornada de trabajo de 8 horas, ello se corrige con el uso de cabinas del operador con aire acondicionado regulado. (Pérez, 2016, p.6).

1.1.2 A nivel nacional

“[...] En las regiones de la costa y de la selva, en donde la temperatura en la estación de verano supera los 30 grados centígrados, los maquinistas realizan los trabajos de operación de las retroexcavadoras bajo condiciones inapropiadas de confort al no contar con aire acondicionado en la cabina”. (Valerio, 2016, p.9).

En los sistemas de aire acondicionado que utilizan energía mecánica del motor para accionar el compresor del sistema de compresión de vapor, los consumos de combustible se incrementan en función al tiempo de activación del sistema, con lo cual la hora de alquiler de la máquina también se incrementa; siendo perjudicial para las empresas que alquilan éstas unidades debido al incremento de la hora máquina; en mucho casos no se incrementa el costo de la hora máquina, sino que se exige que

el conductor realice las mismas funciones bajo condiciones de confort en la unidad. (Valerio, 2016, p.11).

En la zona norte del Perú, en la construcción de los grandes proyectos, las retroexcavadoras son las unidades de mayor uso para lo que respecta a excavaciones, acarreo de tierras, entre otras labores; siendo ésta zona del país la de mayor temperatura (entre 30 y 40°C), por lo cual aquellas unidades que no cuentan en su cabina el sistema de aire acondicionado, tienen un bajo costo de alquiler de la hora máquina, en comparación a las que sí tienen; la razón es el poco confort para el operador.

1.1.3 A nivel local

En la Región Lambayeque, se realizan diferentes obras de infraestructura, electrificación, saneamiento entre otras, en donde las labores de excavación de tierra, se realizan con las retroexcavadoras. Existen retroexcavadoras que vienen equipadas con el sistema de aire acondicionado en la cabina del operador, sin embargo, también existen retroexcavadoras que no tienen en su equipamiento el sistema de aire acondicionado, por lo cual los operarios tienen un trabajo con temperaturas muchas veces superiores a los 40 grados centígrados, debido a que la cabina es cerrada para evitar el ingreso de tierra y/o polvo.

En el caso de la Retroexcavadora 420E, que operan en la ciudad, datan desde el año 2010, los cuales no cuentan con el sistema de aire acondicionado, sin embargo, las que datan del año 2014 para adelante si tienen el sistema. El inconveniente en la operación de las retroexcavadoras 420E, que no poseen aire acondicionado en las cabinas, es que el ambiente es totalmente cerrado, y los operadores de estas máquinas, tienen que realizar paradas en lapsos de tiempo de media hora aproximadamente y salir hacia el exterior para tener confort y evitar posibles enfermedades por exposición corporal a temperatura alta.

1.2 Trabajos previos.

Mamani, (2015) En Su Tesis “Diseño De Un Sistema De Aire Acondicionado Por Absorción Aplicado Al Centro De Diseño De Ingeniería Mecánica” Universidad Católica de Santa María, Arequipa- Perú.

Entre las conclusiones se evidenció que el bromuro de litio es el que presenta mayor punto de ebullición comparado con el agua, con las mismas consideraciones de temperatura y presión, y en el proceso de separación de ambos líquidos, se facilita la disolución de éstos.

El diseño de las superficies de intercambio de calor del dispositivo generador y absorbedor, es de contraflujo, a fin de optimizar el intercambio de calor, teniendo en cuenta las leyes de transferencia de calor por convección, radiación y conducción, dimensionando el área óptima para dicho proceso de transferencia de energía.

La determinación de la configuración de los tubos de los intercambiadores de calor, está en función a los parámetros de diseño de los dispositivos, de acuerdo a la carga térmica que se tiene en el evaporador del sistema; la optimización del área de transferencia de calor y el espesor de las tuberías, implicará en la eficiencia del sistema, con valores de performance dentro de los rangos de eficiencia exigidos por la legislación vigente.

Ramos, (2015) En Su Tesis “Diseño De Un Refrigerador Solar Por Adsorción Para Clima Húmedo Cálido” Tesis De Maestría Del Instituto Politécnico Nacional, En Queretano, México.

En el resumen de la investigación, menciona que es una de las formas más limpias y a la vez la forma más económica de obtener frío, utilizando el método de enfriamiento por adsorción. La investigación fue de índole experimental, en el cual se probaron tres fluidos. El etanol, agua y Metanol, y con protocolo de pruebas, se hizo las mediciones haciendo variar la carga térmica y el tipo de fluido.

La forma de la energía solar que se entrega al sistema, se da por el intercambio de calor que entrega la radiación solar del medio externo y el absorbedor del sistema; para lo cual la captación de calor está en función a la carga térmica del sistema.

Así mismo se hizo las mediciones de humedad relativa en diferentes horas del día, realizando el análisis entre la variación de temperatura y humedad relativa de la zona de influencia de la investigación.

Matarazzo (2014), En Su Tesis Denominado: “Refrigeración Local De Vehículos Con Calor Excedente, Presentado A La Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales Y De Telecomunicación Universidad De Cantabria.

En la presente investigación se determinó que la instalación del sistema de aire acondicionado convencional, el cual funciona con el principio de compresión de vapor tiene un costo de 1570 Euros. Mientras que instalar un sistema con enfriador por absorción tiene un costo de 2550 Euros, lo cual implica que el sistema por absorción es de mayor costo, en aproximadamente 1000 Euros.

En los antecedentes de esta tesis, se evidenció que se certifica que utilizar el aire acondicionado en un vehículo, tiene un consumo de combustible, que está en función al tiempo de operación y a la temperatura de operación del evaporador del sistema. Utilizar el enfriador de absorción no tiene ningún valor de consumo de combustible. Ello equivale a decir que mientras el costo de instalación del sistema por absorción es elevado, los costos de operación son nulos.

Desde el punto de vista económico, es más conveniente el uso de sistemas de generación de frío con sistema de absorción.

Gonzales, (2014), En Su Trabajo De Investigación Denominada “Propuesta De Un Sistema De Refrigeración Por Absorción Para La Climatización Del Edificio Administrativo De La Termoeléctrica De Felton” Presentado A La Facultad De Ingeniería Mecánica Del Instituto Superior Minero Metalúrgico De Cuba.

En la presente investigación, se realizó en principio la caracterización de los componentes que conforman el sistema, así como también el cálculo para determinar los parámetros del ciclo de refrigeración, para lo cual se utilizó el diagrama de equilibrio del amoníaco con el agua, y con las leyes de la termodinámica y el balance térmico, se determinó la cantidad de calor que se requiere, así como también del flujo de agua y amoníaco en el sistema.

Se determinó el área de transferencia de calor, es decir mediante las teorías de transferencia de calor por conducción, convección, se hizo el análisis en los diferentes elementos del sistema, como es el caso del evaporador, el condensador, el generador y el absorbedor.

Se propone la instalación de tres plantas enfriadoras de agua por absorción, alimentadas por agua caliente, de la firma Absorsistem S. L., modelo WFC SC30, con capacidad de 105 kW cada una.

1.3 Teorías relacionadas al tema.

Sistemas de compresión y absorción de vapor

En los sistemas de compresión de vapor y los sistemas de absorción existen semejanzas y diferencias, la refrigeración apropiada se logra de la misma manera en ambos sistemas. Esto es por la evaporación de un líquido en un evaporador, utilizando el calor latente de vaporización para obtener un efecto de enfriamiento. Ambos sistemas utilizan a sí mismo un condensador para remover calor del vapor refrigerante a una alta presión y regresarlo a su estado líquido original, los dos usan un dispositivo de control de flujo o de expansión.

De modo en lo que es compresión de vapor se basan en el ciclo frigorífico o convencional (llamado compresión), este consiste en la transferencia de calor, por parte de un fluido, al condensador, y así absorberlo posteriormente en el evaporador, enfriando el ambiente al que sirve. Los equipos de compresión transportan calor de un lugar a otro, utilizando la energía contenida en el aire, por lo tanto, su rendimiento logra ser superior a 1 (100%), pudiendo llegar a 4-5. Su fuente de alimentación es la energía. Asimismo, estos equipos se ejecutan mediante el aumento y descenso de la presión del fluido frigorífero, por ende, al utilizar circuitos cerrados, al variar la presión, varía la temperatura.

Por el contrario, en el sistema de absorción, se basa en la capacidad que tiene algunas sustancias, como el agua y determinadas sales, para absorber, en fase líquida, vapores de otras sustancias. Es decir, se trata disponer de un absorbente más un refrigerante. Los sistemas de absorción no disponen de compresor mecánico, si no que utiliza un compresor térmico, formado por el absorbedor más el generador, de modo que los de absorción (de simple etapa) requieren una fuente de calor externa a una temperatura entre 80 °C y 120 °C, en la que poseen un rendimiento inferior a 1 (100%).

Por consiguiente, la gran ventaja de los sistemas de absorción frente a los de compresión, es la posibilidad de emplear fuentes de energía gratuitas o residuales.

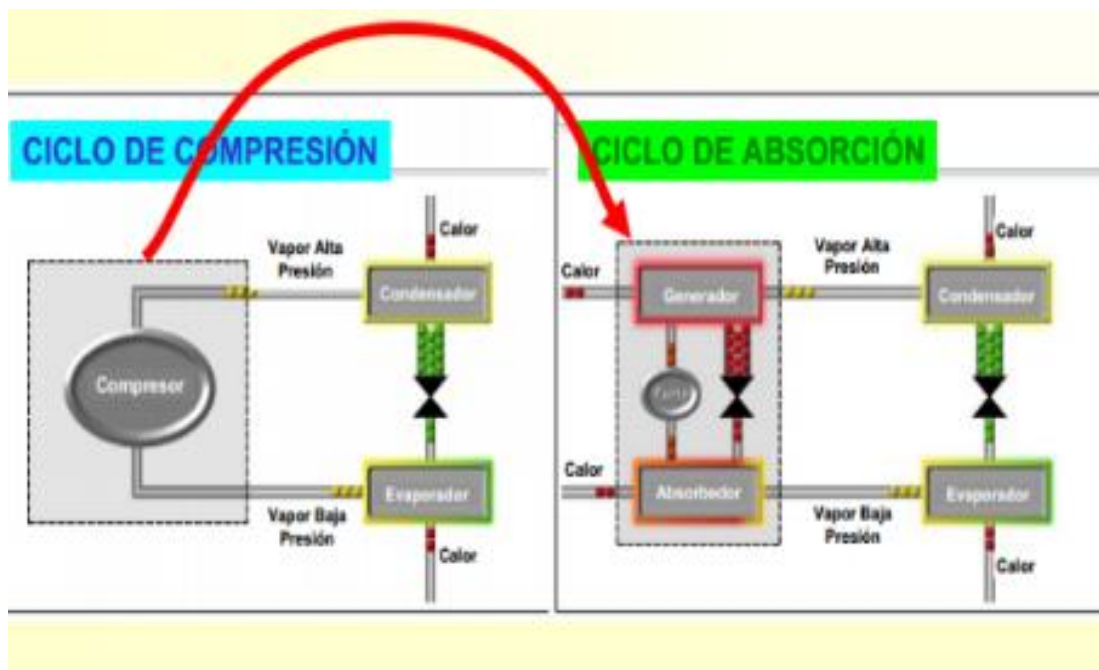


Figura 1. Comparación de los ciclos de compresión y de absorción.

1.3.1 Fluidos de trabajo

Al funcionar los equipos de refrigeración por el ciclo de absorción, se utiliza calor que puede ser extraído de diversas fuentes. Se encuentran unidades conocidas como a llama directa, que consumen combustibles gaseosos o también llamados hidrocarburos naturales, mientras que otras utilizan el calor aportado por el agua caliente, sobrecalentado o vapor. El agua caliente o vapor puede ser residual de procesos industriales de equipos de cogeneración (motores térmicos o turbinas), de pilas de combustible, de calderas de biomasa o, incluso calentadas con energía gratuita y renovable como la solar.

Los dos pares refrigerante/ absorbente más empleados en el ciclo de absorción son $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ y $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$; el primero de ellos preferentemente en aplicaciones de refrigeración y el segundo en climatización.

1.3.2 El refrigerante

Un refrigerante es la sustancia que actúa como agente de enfriamiento, al absorber calor de otro cuerpo o sustancia, siendo el agua el líquido con mayor calor latente de evaporación y condensación que existe en la naturaleza, las aplicaciones de los refrigerantes son entre muchas:

- La climatización para alcanzar un grado de confort térmico adecuado para el ser humano.
- La protección de alimentos, medicamentos u otros productos que se degraden con el calor.
- Los procesos industriales que requieren disminuir la temperatura de maquinarias, materiales, etc. para su adecuado desarrollo.

1.3.3 El absorbente

El absorbente en la disipación es el bromuro de litio, es una sal de color blanco con gran afinidad al agua. Su punto de fusión se encuentra en 535°C y su punto de ebullición del orden de 2200°C llegando a ser su presión extremadamente baja. Es miscible con el agua hasta concentraciones elevadas y se disuelve con gran simplicidad.

1.3.4 El proceso de absorción

“Absorción” se basa en la capacidad de absorber calor de ciertos pares de sustancias como el agua y el bromuro de litio o el agua y el amoníaco. su funcionamiento se basa en las reacciones físico-químicas entre el refrigerante y el absorbente, accionadas por una energía térmica, que en el caso de la energía solar es agua caliente.

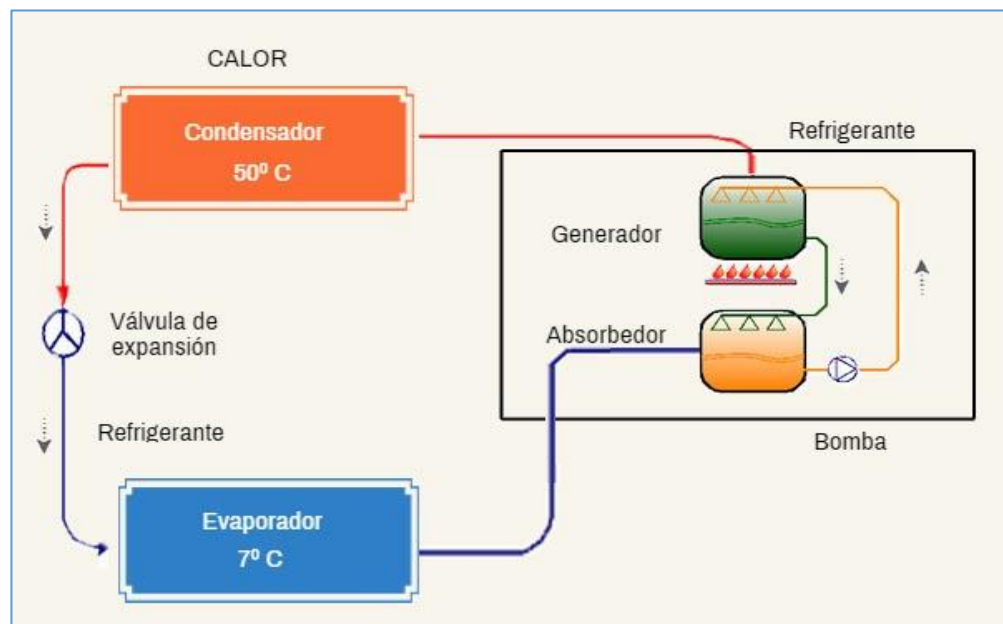


Figura 2. Proceso de refrigeración por absorción.

Procesos de transferencia de calor por absorción

Calor del Evaporador: Es el calor que se extrae desde un espacio, es decir es el efecto frigorífico que se obtiene de la transferencia de calor desde la cargas térmicas hasta el fluido de trabajo, que es el agua de refrigeración con el bromuro de litio del sistema.

La cantidad de calor que se extrae del evaporador se determina con la expresión:

$$Q_e = m * (h_{se} - h_{ie})$$

Dónde:

Q_e : Calor que extrae el evaporador KJ

m : Flujo másico, en Kg/s.

h_{se} : Entalpía de salida en el evaporador.

h_{ie} : Entalpía de ingreso en el evaporador

Los valores de entalpía se determinan en las tablas de vapor de agua, en el cual se toman en cuenta su fase, es decir si se encuentra como líquido o vapor saturado. El fluido ingresa al evaporador en forma de líquido comprimido y sale en fase de vapor saturado, a presión constante.

Calor del Condensador. Es el calor que se extrae desde el sistema hacia el exterior.

La cantidad de calor que se extrae del condensador se determina con la expresión:

$$Q_c = m * (h_{sc} - h_{ic})$$

Dónde:

Q_c : Calor que extrae el evaporador KJ

m : Flujo másico, en Kg/s.

h_{sc} : Entalpía de salida en el condensador. En KJ/Kg

h_{ic} : Entalpía de ingreso en el condensador En KJ/Kg

Los valores de entalpía se determinan en las tablas de vapor de agua, en el cual se toman en cuenta su fase, es decir si se encuentra como líquido o vapor saturado. El fluido ingresa al condensador en forma de vapor saturado a alta presión y sale en fase de líquido saturado a alta presión.

Calor del Generador . Es el calor que absorbe el sistema del medio exterior. El calor de la fuente externa, puede ser la energía solar.

La determinación de la cantidad de calor que absorbe está en función a los niveles de radiación solar, expresado en KW-h/m².

El calor que recibe el generador lo obtiene a través de un colector solar, el cual intercambia calor con el generador a fin de incrementar el valor energético del fluido refrigerante y de esa manera incrementar su presión y temperatura.

Refrigerante del sistema por absorción. En los distintos metodos de produccion de frio existen varias condiciones de funcinamiento de refrigerantes apropiados que aseguran un optimo de eficiencia y seguridad en relacion a sus propiedades quimicas y fisicas.

Captador solar plano

Es el tipo más habitual de colector solar. Es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica de baja temperatura para usos domésticos o comerciales de calefacción, agua caliente y climatización de piscinas, fundamentalmente.

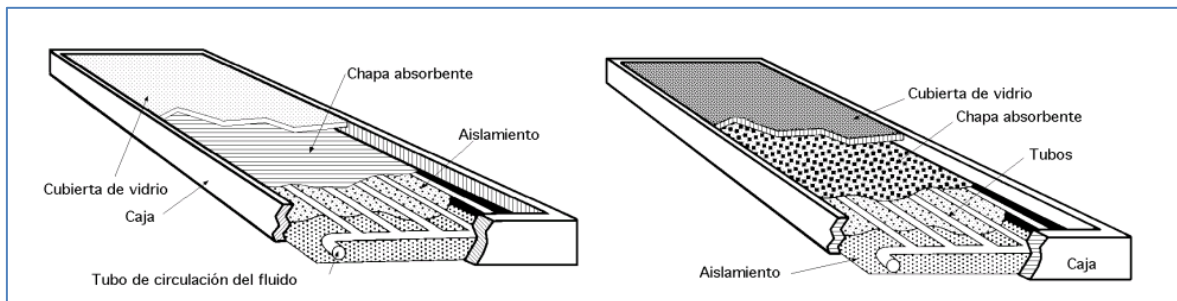


Figura 3. Colector solar de placas planas.

Radiación solar incidente en Colector solar.

$$H_T = (H - H_d)R_b + \left[\frac{H_d(1 + \cos \beta)}{2} \right] + \left[\frac{H(1 - \cos \beta)\rho_t}{2} \right] \dots\dots\dots (12)$$

Dónde:

H_T = Radiación total horaria que llega a la superficie del colector.

H = Radiación total horaria que cae sobre una superficie inclinada (W/m².h)

H_d = radiación difusa horaria que cae sobre una superficie horizontal.

R_b = relación entre la radiación directa sobre una superficie inclinada y la radiación sobre una superficie horizontal.

β = Inclinación del colector.

ρ_T = reflexividad de la tierra o suelo.

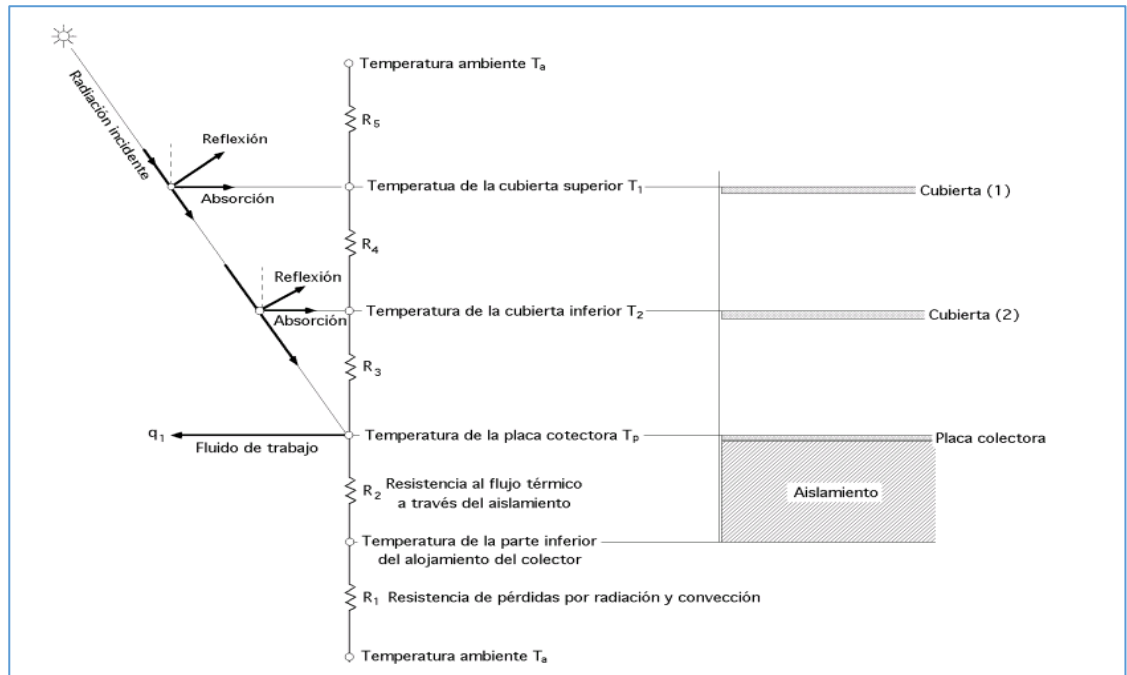


Figura 4. Radiación solar en colector solar de placas planas.

Radiación solar

Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol, el mismo que se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K.

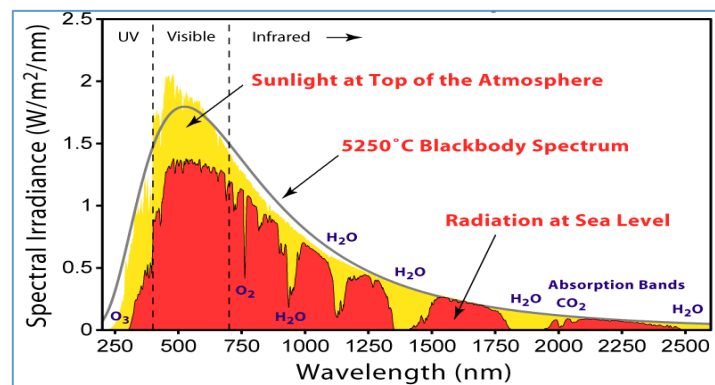


Figura 5. Espectro de la radiación solar.

Medida y registro de la radiación solar

La radiación emitida por el Sol se distribuye en un amplio espectro de longitudes de onda, como se puede observar en la figura, correspondiendo la mayor parte de la energía radiada, a la porción comprendida entre 0.2 y 3.0 μm , con una distribución espectral muy similar a la producida por un radiador integral (cuerpo negro) a 5777 K. (Mercedes García, 2016, p.4)

Tipos de radiación

Radiación directa.

Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

Radiación difusa. (Mercedes García, 2016, p.4)

Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc.

Radiación reflejada.

La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. (Mercedes García, 2016, p.4)

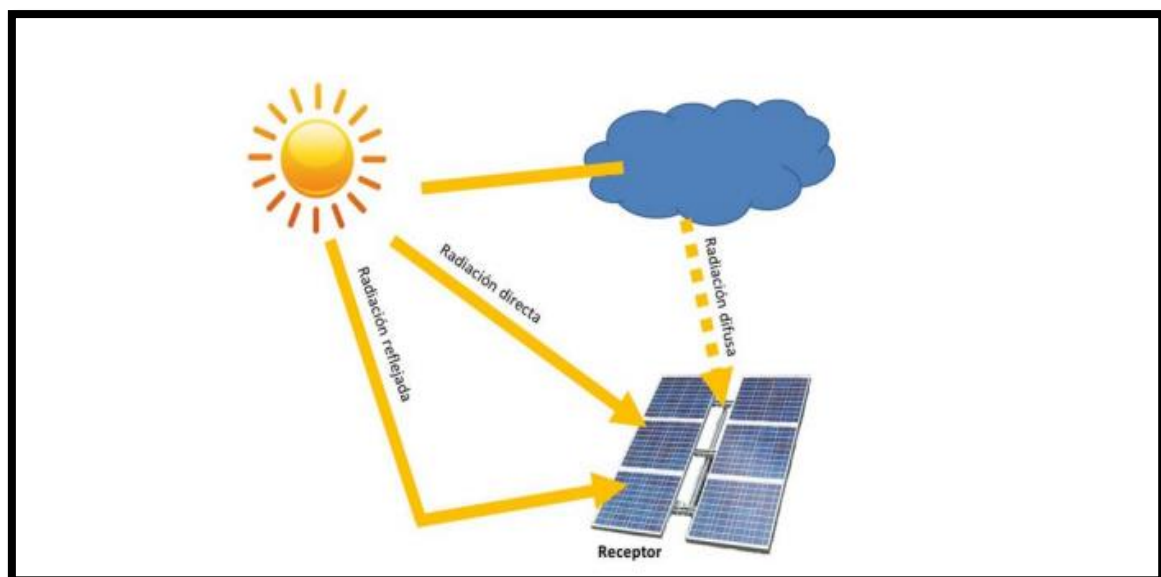


Figura 6. Modelos de radiación solar.

1.4 Formulación del problema

¿Cómo diseñar un sistema de aire acondicionado por absorción con energía solar para climatizar la cabina de una retroexcavadora 420 E?

1.5 Justificación del estudio.

1.5.1 Técnica.

Se justifica técnicamente porque existen los mecanismos que captan la radiación solar y por medio de un proceso de refrigeración por absorción logran incrementar la temperatura y presión del líquido refrigerante cambiándolo de fase líquida a fase vapor, con lo cual en el evaporador se logra obtener un efecto refrigerante.

Así mismo se justifica, porque no utiliza energía mecánica del motor para accionar el compresor, como es en el sistema convencional, sino que solo utiliza energía solar, con lo cual el consumo de combustible no se incrementa.

1.5.2 Económica.

Se justifica económicamente el proyecto, porque no existirá un incremento en el consumo de combustible al instalar el sistema de aire acondicionado con energía solar, así mismo existirá un mejor rendimiento de operación de la máquina por parte del operador, disminuyendo las horas de trabajo, con lo cual la diferencia de tiempo pueda ser para otras labores, lo cual incrementa las utilidades de la retroexcavadora.

1.5.3 Social.

La presente investigación tiene un impacto positivo para los operadores de las retroexcavadoras ya que van a contar con un ambiente de temperatura adecuada permitiendo un mayor confort y así mejorar en la producción. El impacto es en el mejoramiento de las condiciones del ambiente de trabajo, el cual tiene como consecuencia el incremento de la eficiencia del operador, así como también se disminuye el stress laboral.

1.5.4 Ambiental.

Al no haber incremento del consumo de combustible en el motor de la retroexcavadora al utilizar energía solar para el accionamiento del aire acondicionado, no existirá aumento del consumo de combustible, por lo cual, si se mantienen todas las demás variables de funcionamiento del motor constantes, las emisiones de los gases hacia la atmosfera no se incrementan, con lo cual contribuye al no incremento del efecto invernadero.

1.6 Hipótesis.

El diseño de un sistema de aire acondicionado por absorción utilizando energía solar, climatiza la cabina de la Retroexcavadora 420E.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de aire acondicionado por absorción aprovechando la energía solar para climatizar la cabina de la retroexcavadora 420E.

1.7.2 Objetivos específicos.

- Cuantificar las Cargas Térmicas en la cabina de la retroexcavadora a Climatizar.
- Realizar un estudio del potencial solar en las zonas donde operan las retroexcavadoras, con información de las estaciones meteorológicas, en cuanto a los niveles de radiación solar.
- Determinar los Parámetros de funcionamiento del sistema de refrigeración con energía solar.
- Diseñar el Colector Solar (Generador) del sistema de Aire acondicionado por absorción.
- Realizar una evaluación económica, utilizando indicadores tales como VAN, TIR, relación Beneficio- Costo.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de investigación.

No experimental.

Esta investigación es no experimental debido a que se va a realizar las mediciones a las variables, a través de un análisis tal como se presenta en la realidad.

2.2 Variables, operacionalización.

2.2.1 Variable independiente

Diseño de un sistema de aire acondicionado por absorción con energía solar.

2.2.2 Variable dependiente.

Climatización de la cabina de una retroexcavadora.

2.2.3 Operacionalización de las variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO
Variable Independiente: Diseño de un sistema de aire acondicionado por absorción con energía solar.	Es el conjunto de mecanismos que cumplen la función de transferir la energía solar a un sistema que lo utiliza para generar frío.	Es el dimensionamiento de los elementos electromecánicos, que captan la energía en términos de radiación solar, y mediante los procesos de transferencia de calor, el líquido refrigerante cambia de fase para lograr el efecto refrigerante.	Ciclo Térmico. Aspectos Mecánicos.	Transferencia de calor por radiación, convección y conducción. Presión. Temperatura. Volumen específico.	KJ/m2. KJ Pascal. Grados centígrados. m3/Kg	Guía de observación.
Variable Dependiente: Climatización de la cabina de una retroexcavadora.	Condiciones de temperatura y presión en el interior de la cabina de la retroexcavadora que generan condiciones de confort del operador.	Enfriamiento del aire que circula por el interior de la cabina, por medio de los elementos del sistema de refrigeración por absorción.	Temperatura. Presión.	Temperatura. Presión.	Grados centígrados. Pascal.	Guía de observación.

2.3 Población y muestra.

2.3.1 Población.

Treinta y dos Retroexcavadoras 420E, que existen en las empresas, región Lambayeque.

2.3.2 Muestra.

La muestra se determina con la expresión:

$$n = \frac{Z^2(N)(p)(q)}{Z^2(p)(q) + e^2(N - 1)}$$

N = Población (32)

p = Proporción máxima a favor de la muestra 5% (0.05)

q = Proporción máxima que afecta a la muestra 5% (0.05)

Z = Nivel de confianza de estudio 94% (1.88)

e = Margen de error de muestra (0.04)

Remplazando en mi fórmula para hallar el tamaño de mi muestra:

$$n = \frac{1.88^2(32)(0.05)(0.05)}{1.88^2(0.05)(0.05) + (0.04)^2(32 - 1)}$$

$$n = 4.83$$

$$n = 5 \text{ unidades}$$

2.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos.

2.4.1 Técnicas de Recolección de Datos

Técnicas:

Se emplearán las siguientes técnicas de investigación.

TÉCNICA	USO	INSTRUMENTO
Revisión documentaria.	Se revisarán los trabajos de Investigación, artículos científicos, características técnicas de los sistemas de refrigeración por absorción.	Evaluación Documentaria.
Observación.	Se realizarán las mediciones de los niveles de radiación en la zona de influencia del proyecto.	Guía de observación.
	Información relevante al funcionamiento de las retroexcavadoras.	Entrevista.

2.4.2 Instrumento de recolección de datos.

-Guías de observación: Las guías de observación que se utilizará será para registrar las mediciones de los niveles de radiación en la zona de influencia del proyecto.

- Entrevista: Será dirigida al Jefe de Mantenimiento de las Máquinas Retroexcavadoras en un taller de Chiclayo.

-Guía de análisis de documento: Se revisarán los trabajos de Investigación, artículos científicos, características técnicas de los sistemas fotovoltaicos de generación de energía.

2.4.3 Validez y confiabilidad

-Validez: La validez de este proyecto de investigación nos concierne a la interpretación correcta y cuidado exhaustivo del proceso metodológico de los resultados que obtenemos en el estudio del tema científico.

-Confiabilidad: Para garantizar esta condición a través del proyecto de investigación se realizará una encuesta a los maquinistas y a los encargados del mantenimiento de los sistemas de aires acondicionados.

2.5 Aspectos éticos.

Los resultados del diseño propuesto, se realizarán en base de los datos recopilados, sin adulterar su valor ni cualidad, y los cálculos que se realicen estarán dentro de lo estipulado por las teorías científicas existentes, en este caso a los procesos de refrigeración por absorción.

III. RESULTADOS

3.1 Cuantificar las cargas térmicas en la cabina de la retroexcavadora a climatizar.

3.1.1. Cálculo de las necesidades energéticas de las cabinas de retroexcavadoras a climatizar

Al diseñar una instalación térmica, lo primero que hay que hacer es determinar, del modo lo más preciso posible, la potencia térmica (o frigorífica) necesaria para cubrir la demanda motivo de la instalación.

3.1.2. Condiciones de diseño

Dado que la carga térmica es la potencia de refrigeración o calentamiento que requiere la instalación, en un determinado instante para mantener unas condiciones térmicas interiores dadas, estará inicialmente condicionada por el propósito de la instalación (condiciones interiores requeridas), su localización y las características de los cerramientos del ambiente que se pretende controlar.

3.1.3. Condicionantes del ambiente térmico interior

En aplicaciones de aire acondicionado destinadas al confort, el ambiente térmico se define por aquellas características que condicionan los intercambios térmicos del cuerpo humano con el ambiente, en función de la actividad de la persona y del aislamiento térmico de su vestimenta.

Las condiciones interiores de diseño se fijarán en función de la actividad metabólica de la persona que opera la retroexcavadora y su grado de vestimenta y, en general, estarán comprendidas entre los siguientes valores promedios, los cual han sido obtenidos de las estaciones meteorológicas presentes en cada región:

Tabla 1. Valores promedio de condiciones ambientales.

Región	Estación	Valores Promedios de condiciones ambientales		
		Temperatura (°C)	Velocidad media del aire (m/s)	Humedad relativa (%)
Piura	Verano	34	1.2	56
	Invierno	26	1.5	67
Lambayeque	Verano	31	0.6	68
	Invierno	19	1.2	89
La Libertad	Verano	29	1.1	75
	Invierno	17	1.8	91
Cajamarca	Verano	22	0.9	43
	Invierno	12	1.4	56

Fuente: SENAMHI.

El ambiente exterior

El ambiente exterior de la cabina en la retroexcavadora viene definido por la temperatura seca, la temperatura húmeda, la velocidad y dirección del viento.

3.1.4. Clasificación y metodología del cálculo de cargas

Para realizar la dimensión de los diferentes elementos del sistema de aire acondicionado por absorción, se requiere la cuantificación de la carga térmica en el interior de la cabina de la retroexcavadora. Las cargas térmicas en el interior de la cabina varían en función a las condiciones del medio exterior, debido al flujo de calor desde el exterior hacia el interior de la cabina.

Carga Sensible/Carga Latente.

En el caso si se modifica la temperatura seca del aire, se denomina carga sensible, y si se modifica la cantidad de vapor el agua, se denomina carga latente.

3.1.5. Cargas térmicas en el interior de la cabina de la retroexcavadora

Cargas exteriores

- Cargas que fluyen a través de paredes suelos y techos de la retroexcavadora.
- Cargas a través de superficies acristaladas. Ventanas de la cabina.

Cargas interiores

- Número de Ocupantes.
- Iluminación interior de la cabina.
- Motor de Combustión Interna.
- Asientos e instalaciones.

3.1.6. Determinación de la transferencia de calor entre el interior del vehículo y el medio ambiente.

a) Paredes, techo y pisos.

Las paredes de los vehículos presentan la siguiente distribución en cuanto al espesor de la pared. Para la condición más desfavorable, se determina el flujo de calor desde el exterior hacia el interior; de la tabla 1, se puede observar que, en la estación de verano en la Región Piura, la temperatura tiene un valor de 34°C . En el interior de la cabina la temperatura óptima de trabajo es de 19°C , en el cual el operador de la retroexcavadora logra el confort óptimo.

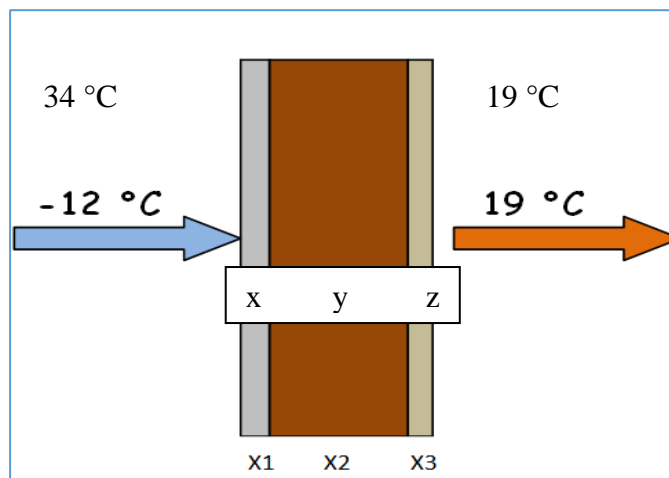


Figura 7. Transferencia de calor por conducción.

Dónde “a” es el espesor de la plancha con la que está construida la carrocería, y “b” es el espesor del vacío entre las planchas.

Temperatura en el exterior de la cabina de la retroexcavadora: 34°C

Temperatura en el interior de la retroexcavadora: 19°

Diferencia de temperatura entre exterior e interior: 15°C

El material de las paredes es de acero A36, de alta resistencia mecánica.

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{\text{inf}}}{R_T},$$

donde la Resistencia Total se calcula:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w}$$

Dónde:

R: Resistencia al flujo de calor total.

hi: Coeficiente de transferencia de calor por convección del vidrio: $30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$

hc: Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire: $65 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$

k_w : Coeficiente de transferencia de calor por conducción del aire: $1.4 \cdot 10^4 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$

Reemplazando valores, se tiene:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w} = \frac{1}{30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]} + \frac{1}{65 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]} + \frac{5 \times 10^{-3} [m]}{1.4 \cdot 10^4 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]} = 0.048 \left[m^2 \cdot ^\circ K / W \right]$$

Entonces, reemplazando valores, se tiene:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{\text{inf}}}{R_T} = \frac{(34 - (19))^\circ K}{0.048 \left[m^2 \cdot ^\circ K / W \right]} = 312.5 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

El área total de la superficie metálica entre el techo, piso y paredes laterales es de

4.20m², por lo tanto, el calor total que se transfiere desde el exterior hasta el interior de

la cabina de la retroexcavadora es:

$$\frac{q}{A} == 312.5 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$\frac{q}{A} == 4.2m^2 * 312.5 \left[\frac{W}{m^2} \right] = 1312.5Watt$$

Luego, se tiene en las interfaces de aire en convección:

Interna

$$\frac{q}{A} = h_i \times (T_i - T_{wi}) \Rightarrow T_{wi} = T_i - \frac{q}{h_i \times A}$$

$$T_{wi} = T_i - \frac{q}{h_i \times A} = 34^\circ C - \frac{312.5 \left[\frac{W}{m^2} \right]}{30 \left[\frac{W}{m^2 - ^\circ C} \right]}$$

$$T_{wi} = 23.58^\circ C$$

Es la temperatura en el vacío que existe entre las planchas de acero de las paredes de la cabina de la retroexcavadora.

b) Flujo de calor por las ventanas cristalinas

Temperatura en el exterior de la cabina de la retroexcavadora: $34^\circ C$

Temperatura en el interior de la retroexcavadora: 19°

Diferencia de temperatura entre exterior e interior: $15^\circ C$

El material es de vidrio cristalino, en el cual la transferencia de calor se determina:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{inf}}{R_T},$$

donde la Resistencia Total se calcula:

$$R_T = \frac{1}{hi} + \frac{1}{hc} + \frac{\Delta x}{k_w}$$

Dónde:

R: Resistencia al flujo de calor total.

hi: Coeficiente de transferencia de calor por convección del vidrio: $45 \left[\frac{W}{m^2 - ^\circ K} \right]$

hc: Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire: $65 \left[\frac{W}{m^2 - ^\circ K} \right]$

k_w : Coeficiente de transferencia de calor por conducción del aire: $1.4 * 10^4 \left[\frac{W}{m - ^\circ K} \right]$

Reemplazando valores, se tiene:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} + \frac{\Delta x}{k_w} = \frac{1}{45 \left[\frac{W}{m^2 - ^\circ K} \right]} + \frac{1}{65 \left[\frac{W}{m^2 - ^\circ K} \right]} + \frac{5 \times 10^{-3} [m]}{1.4 * 10^4 \left[\frac{W}{m - ^\circ K} \right]} = 0.037 \left[m^2 - ^\circ K / W \right]$$

Entonces, reemplazando valores, se tiene:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_{\text{inf}}}{R_T} = \frac{(34 - (19))^{\circ} K}{0.037 \left[m^2 -^{\circ} K / W \right]} = 405.4 \left[W / m^2 \right]$$

El área total de los vidrios cristalinos entre las puertas laterales y el parabrisas delantero es de 2.8 m².

Por lo tanto, el calor total que se transfiere desde el exterior hasta el interior de la cabina de la retroexcavadora por los vidrios cristalinos es:

$$\frac{q}{A} = 405.4 \left[W / m^2 \right]$$

$$\frac{q}{A} = 2.8 m^2 * 405.4 \left[W / m^2 \right] = 1135.13 Watt$$

c) **Determinación del calor interno en la cabina.**

En el interior de la cabina, se encuentran las siguientes cargas térmicas:

Luminarias: se tiene 2 luminarias de 30 watt de potencia, el cual irradia un calor de 21 Watt cada uno, totalizando 42 Watt de calor sensible.

Motor de Combustión Interna: el motor de la retroexcavadora tiene una potencia de 420 KW, el cual irradia un calor hacia el exterior de 470 Watt.

Ocupantes: La cabina está diseñada para 1 operador. En promedio una persona irradia un calor sensible de 75 Watt.

Asientos: un asiento que en su conjunto tiene un calor sensible de 35 Watt.

Tabla 2. Cálculo de carga térmica en cabina de retroexcavadora.

Carga Térmica	Calor Sensible (Watt)
Flujo de Calor desde el Exterior por paredes, pisos y techo	1312
Flujo de Calor desde vidrios cristalinos	1135
Luminarias	42
Motor de Combustión Interna	470
Ocupantes.	75
Asientos	35
Total	3069

Fuente: propia.

La cantidad de calor que requiere extraer el sistema de aire acondicionado por absorción es de 3069 Watt.

3.2 Realizar un estudio del potencial solar en las zonas donde operan las retroexcavadoras, con información de las estaciones meteorológicas, en cuanto a los niveles de radiación solar.

3.2.1. Registro de niveles de radiación solar.

Se realizó la recolección histórica de los niveles de radiación solar en las 4 Regiones del Norte del Perú, que es el área en donde opera la retroexcavadora. Se tiene el registro de 3 meses del año 2019 del valor de radiación solar en cada hora, desde las 10.00 hasta las 15.00 horas, registrada en las estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e

	Enero 2019							Febrero 2019							Marzo 2019						
Hora / Día	3	8	13	17	22	26	30	2	6	12	17	21	23	28	1	5	11	16	22	24	31
10.00.	4.6	4.7	4.4	4.8	4.6	4.5	4.4	4.3	4.1	4.9	4.3	4.4	4.2	4.8	4.1	4.3	4.1	4.3	4.4	4.3	4.1
11.00.	4	4.4	5.1	4.9	5.3	5.1	5	5.2	5.3	5.1	4.9	4.7	5.4	5.5	5.9	4.9	4.9	4.8	5.3	5.1	5.2
12.00.	5.8	5.9	5.7	5.6	5.9	6.1	5.7	6.1	6.3	6	5.8	6.1	5.9	6.1	5.9	5.9	6.1	6.3	5.9	6.4	6.4
13.00.	5.9	6.3	6.1	5.9	6.3	5.9	6.1	6.1	6.2	6.1	6.4	5.9	6.3	5.9	6.2	5.9	6.3	6.1	6.3	6.3	6.3
14.00.	5.3	5.9	5.4	5.4	5.8	5.3	5.4	5.6	5.9	5.5	5.9	5.4	5.4	5.8	5.3	5.4	5.9	5.9	6.1	6.1	5.9
15.00.	5.1	5.3	4.9	4.9	5.3	5.3	5.1	5.1	5.3	4.9	5.2	4.7	4.6	4.6	4.9	5.2	5.4	5.3	5.2	5.4	5.3

Hidrología del Perú.

Tabla 3. Nivel de radiación solar kw-h/m2. estación regional Lambayeque.
Fuente: propia.

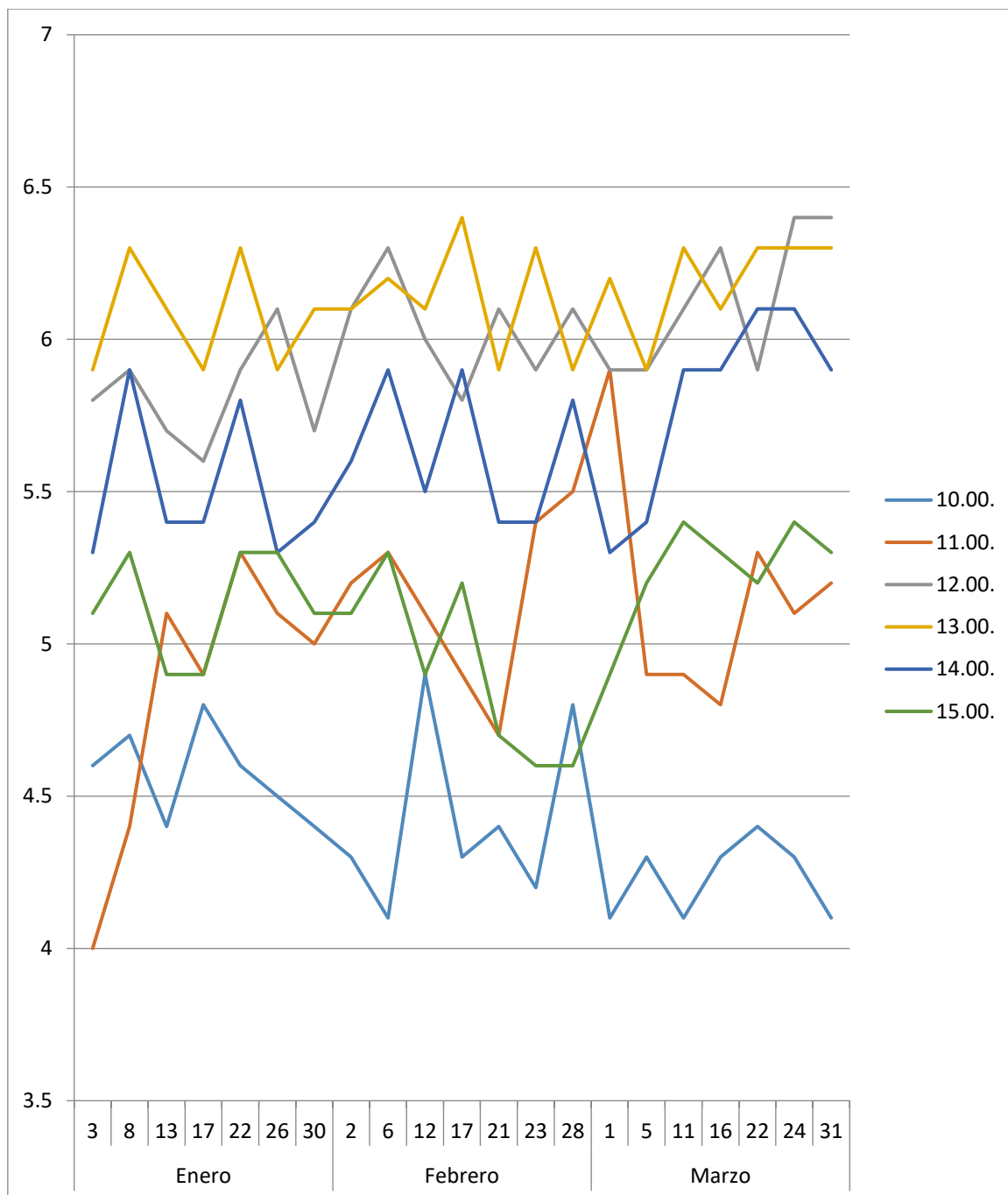


Gráfico 1: Nivel de Radiación Solar Kw-h/m2. Estación Región Lambayeque.

Tabla 4. Nivel de radiación solar km-h/m2. estación regional Piura.

	Enero 2019							Febrero 2019							Marzo 2019						
Hora / Día	3	8	13	17	22	26	30	2	6	12	17	21	23	28	1	5	11	16	22	24	31
10	5.1	5.1	4.7	5	4.8	4.7	4.6	4.4	4.3	5.1	4.6	4.6	4.4	5	4.8	4.5	4.3	4.6	4.6	4.5	4.3
11	4.1	4.5	5.2	5	5.3	5.2	5.1	5.2	5.4	5.2	5.1	4.8	5.5	5.7	6	4.9	5	4.8	5.4	5.1	5.1
12	6	6.3	6.1	5.9	6.1	6.3	5.9	6.2	6.4	6.1	6	6.3	6.1	6.1	6.1	5.9	6.3	6.3	6.1	6.1	6.2
13	6.1	6.3	6.2	6.1	6.5	6.2	6.3	6.3	6.5	6.3	6.4	6.2	6.3	6.1	6.4	6.2	6.5	6.4	6.5	6.3	6.3
14	5.8	5.9	5.6	5.4	6.1	5.4	5.5	6.1	6	6.1	6	5.9	5.5	5.8	5.7	5.8	5.9	6.1	6.1	6.1	6.1
15	5.3	5.4	5.2	5.1	5.4	5.2	5.1	5.8	5.3	5	5.3	4.9	4.8	4.9	5.1	5.1	5.2	5.8	5.1	5.3	5.4

Fuente: propia.

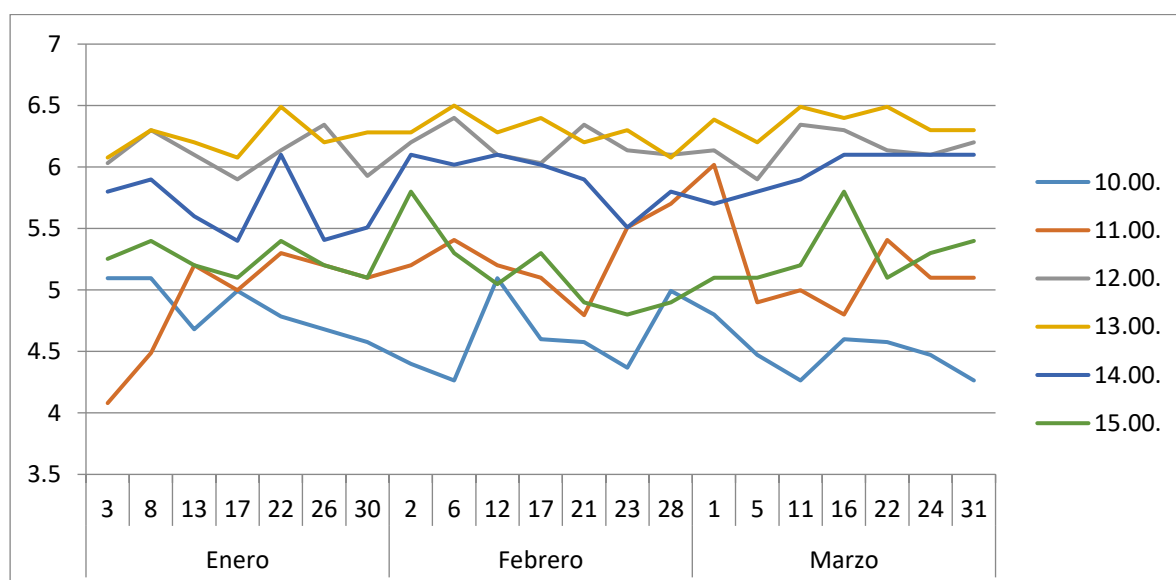


Gráfico 2: Nivel de Radiación Solar KW-h/m2. Estación Región Piura.

Tabla 5. Nivel de radiación solar kW-h/m2. estación regional la libertad.

	Enero 2019							Febrero 2019							Marzo 2019						
Hora / Día	3	8	13	17	22	26	30	2	6	12	17	21	23	28	1	5	11	16	22	24	31
10	4.5	4.5	4.8	4.8	4.9	4.3	4.4	4.3	3.9	4.9	4.2	4.3	4.2	4.5	4.7	4.2	4.1	4.4	4.4	4.3	4.2
11	4	4.4	5.1	4.9	5.1	5.1	5	5	5.2	5.1	5	4.7	5.3	5.5	5.8	4.8	4.9	4.7	5.2	5	5
12	5.4	5.9	5.9	5.7	5.3	5.9	5.8	6	5.4	5.9	5.3	6.2	6	5.8	6	5.7	5.8	6.1	6	5.7	5.6
13	5.9	6.1	6	5.9	6.3	6	5.9	6.1	5.9	6.1	6.2	6	6.1	5.9	6.2	6	6.3	6.2	6.3	6.1	6.1
14	5.6	5.5	5.4	5.4	5.9	5.2	5.3	5.9	5.8	5.9	5.8	5.7	5.3	5.9	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.8	5.9
15	5.1	5.2	4.9	5	5.2	4.6	5	5.3	5.1	4.9	5.6	4.8	4.7	4.9	5	4.9	5	4.9	5	4.9	5.1

Fuente: propia.

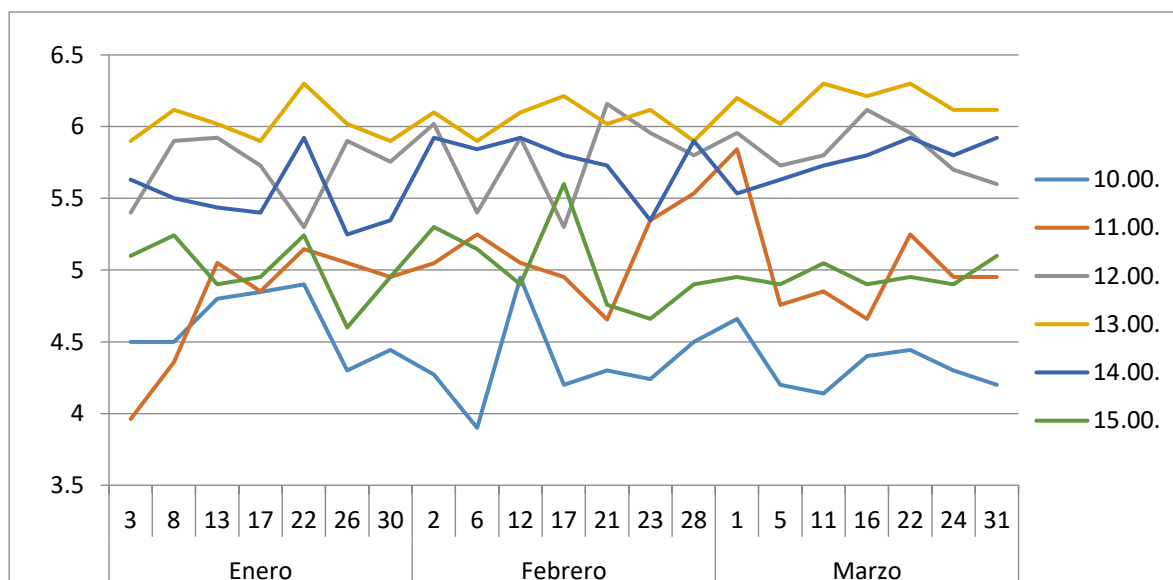


Grafico 3: nivel de radiación solar kW-h/m2. Estación región Libertad.

Tabla 6. Nivel de radiación solar kW-h/m2. estación región Cajamarca.

	Enero 2019							Febrero 2019							Marzo 2019						
Hora / Día	3	8	13	17	22	26	30	2	6	12	17	21	23	28	1	5	11	16	22	24	31
10	4.6	4.6	4.9	4.9	5	4.4	4.6	4.3	4	5.1	4.3	4.8	4.4	4.6	5.1	4.3	4.9	4.5	4.8	4.4	4.9
11	4.1	4.5	5.2	5.4	5.3	5.2	5.1	5.8	5.4	5.2	5.9	4.8	6	5.7	6.2	4.9	5.2	5.1	5.4	5.3	5.3
12	5.3	6.1	6.1	6.3	5.5	6.1	5.9	6.2	5.6	6.1	5.5	6.3	6.1	6	6.1	5.9	6	6.3	6.1	5.9	5.8
13	6.1	6.3	6.2	6.1	6.5	6.2	6.1	6.3	6.1	6.3	6.4	6.2	6.3	6.1	6.4	6.2	6.5	6.4	6.5	6.3	6.3
14	5.8	5.7	5.6	5.6	6.1	5.2	5.9	6.1	6.3	6.1	6	6.4	5.5	6.1	6.1	5.8	5.9	6	6.1	5.9	6.1
15	5.2	5.4	5.2	5.1	5.4	5.6	5.1	5.5	5.3	5	5.8	5.3	4.8	5	5.3	5	5.2	5	5.1	5	5.3

Fuente: propia.

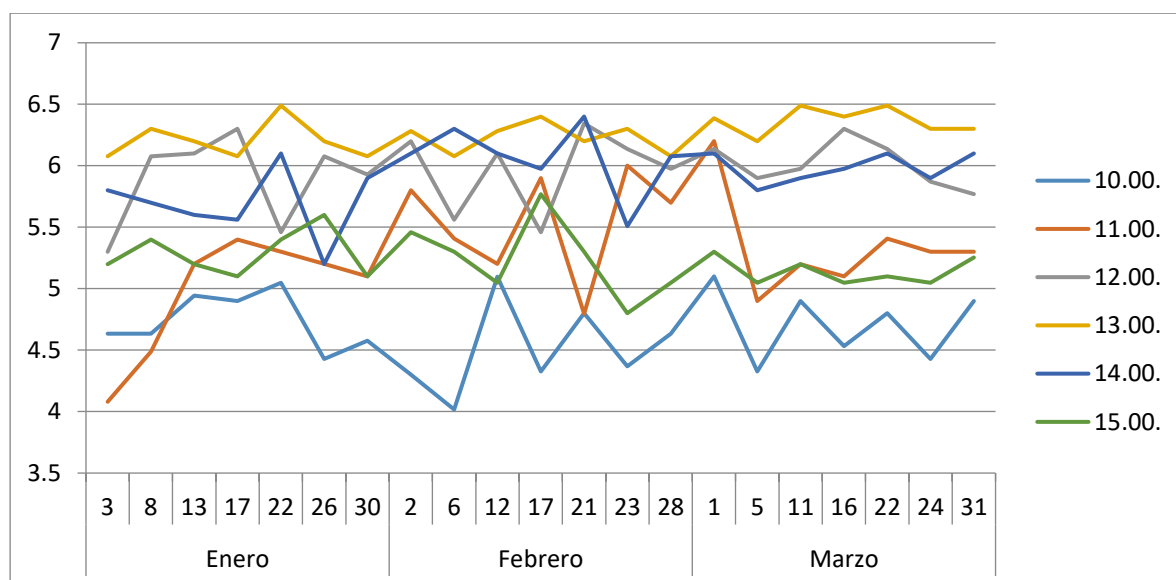


Gráfico 4: Nivel de Radiación Solar KW-h/m2. Estación Región Cajamarca.

Análisis de medición de radiación solar.

Se realiza el análisis utilizando variables estadísticas, como el caso de la mediana, a fin de determinar el valor de medición medio.

Para la determinación de la mediana, se ordenan los datos de menor a mayor valor de cada una de las regiones en donde se ha realizado el análisis de las mediciones.

Niveles de radiación solar en Lambayeque.

N° Medi- ción	Nivel de radiación KW- h/m2
1	4
2	4.1
3	4.1
4	4.1
5	4.1
6	4.2
7	4.3
8	4.3
9	4.3
10	4.3
11	4.3
12	4.4
13	4.4
14	4.4
15	4.4
16	4.4
17	4.5
18	4.6
19	4.6
20	4.6
21	4.6
22	4.7
23	4.7
24	4.7
25	4.8
26	4.8
27	4.8
28	4.9
29	4.9
30	4.9
31	4.9
32	4.9

33	4.9
34	4.9
35	4.9
36	4.9
37	5
38	5.1
39	5.1
40	5.1
41	5.1
42	5.1
43	5.1
44	5.1
45	5.2
46	5.2
47	5.2
48	5.2
49	5.2
50	5.3
51	5.3
52	5.3
53	5.3
54	5.3
55	5.3
56	5.3
57	5.3
58	5.3
59	5.3
60	5.3
61	5.3
62	5.4
63	5.4
64	5.4
65	5.4
66	5.4

67	5.4
68	5.4
69	5.4
70	5.4
71	5.5
72	5.5
73	5.6
74	5.6
75	5.7
76	5.7
77	5.8
78	5.8
79	5.8
80	5.8
81	5.9
82	5.9
83	5.9
84	5.9
85	5.9
86	5.9
87	5.9
88	5.9
89	5.9
90	5.9
91	5.9
92	5.9
93	5.9
94	5.9
95	5.9
96	5.9
97	5.9
98	5.9

99	5.9
100	6
101	6.1
102	6.1
103	6.1
104	6.1
105	6.1
106	6.1
107	6.1
108	6.1
109	6.1
110	6.1
111	6.1
112	6.1
113	6.2
114	6.2
115	6.3
116	6.3
117	6.3
118	6.3
119	6.3
120	6.3
121	6.3
122	6.3
123	6.3
124	6.4
125	6.4
126	6.4

Utilizando el comando “mediana” del software Microsoft Excel, se obtiene el valor de la mediana.

Tabla 7. Nivel de radiación kW-h/m2.

Nº Medición	Nivel de radiación KW-h/m2
1	4
2	4.1
3	4.1
4	4.1
5	4.1
6	4.2
123	6.3
124	6.4
125	6.4
126	6.4
	5.4
	MEDIANA(C10:C135)

Fuente: propia.

Niveles de radiación solar en Piura

Nº Medición	Nivel de radiación KW-h/m2
1	4.1
2	4.3
3	4.3
4	4.3
5	4.4
6	4.4
7	4.5
8	4.5
9	4.5
10	4.6
11	4.6
12	4.6
13	4.6
14	4.6

15	4.7
16	4.7
17	4.8
18	4.8
19	4.8
20	4.8
21	4.8
22	4.9
23	4.9
24	4.9
25	5
26	5
27	5
28	5
29	5
30	5.1
31	5.1

32	5.1
33	5.1
34	5.1
35	5.1
36	5.1
37	5.1
38	5.1
39	5.1
40	5.1
41	5.1
42	5.2
43	5.2
44	5.2
45	5.2
46	5.2
47	5.2
48	5.2
49	5.3
50	5.3
51	5.3
52	5.3
53	5.3
54	5.4
55	5.4
56	5.4
57	5.4
58	5.4
59	5.4
60	5.4
61	5.5
62	5.5
63	5.5
64	5.6
65	5.7
66	5.7
67	5.8
68	5.8
69	5.8
70	5.8
71	5.8
72	5.9
73	5.9
74	5.9

75	5.9
76	5.9
77	5.9
78	6
79	6
80	6
81	6
82	6
83	6.1
84	6.1
85	6.1
86	6.1
87	6.1
88	6.1
89	6.1
90	6.1
91	6.1
92	6.1
93	6.1
94	6.1
95	6.1
96	6.1
97	6.1
98	6.1
99	6.1
100	6.1
101	6.2
102	6.2
103	6.2
104	6.2
105	6.2
106	6.2
107	6.3
108	6.3
109	6.3
110	6.3
111	6.3
112	6.3
113	6.3
114	6.3
115	6.3
116	6.3
117	6.3

118	6.3
119	6.4
120	6.4
121	6.4
122	6.4

123	6.5
124	6.5
125	6.5
126	6.5

Utilizando el comando “mediana” del software Microsoft Excel, se obtiene el valor de la mediana.

Tabla 8. Nivel de radiación kW-h/m2.

Nº Medición	Nivel de radiación KW-h/m2
1	4.1
2	4.3
3	4.3
4	4.3
123	6.5
124	6.5
125	6.5
126	6.5
	5.55
	MEDIANA(B5:B129)

Fuente: propia.

Niveles de radiación solar en La Libertad

Nº Medición	Nivel de radiación KW-h/m2
1	3.9
2	4
3	4.1
4	4.2
5	4.2
6	4.2
7	4.2
8	4.3
9	4.3
10	4.3
11	4.3

12	4.4
13	4.4
14	4.4
15	4.4
16	4.5
17	4.5
18	4.5
19	4.6
20	4.7
21	4.7
22	4.7
23	4.7
24	4.8

25	4.8
26	4.8
27	4.8
28	4.9
29	4.9
30	4.9
31	4.9
32	4.9
33	4.9
34	4.9
35	4.9
36	4.9
37	4.9
38	5
39	5
40	5
41	5
42	5
43	5
44	5
45	5
46	5
47	5
48	5.1
49	5.1
50	5.1
51	5.1
52	5.1
53	5.1
54	5.1
55	5.2
56	5.2
57	5.2
58	5.2
59	5.2
60	5.3
61	5.3
62	5.3
63	5.3
64	5.3
65	5.3
66	5.4
67	5.4

68	5.4
69	5.4
70	5.5
71	5.5
72	5.5
73	5.6
74	5.6
75	5.6
76	5.6
77	5.7
78	5.7
79	5.7
80	5.7
81	5.7
82	5.8
83	5.8
84	5.8
85	5.8
86	5.8
87	5.8
88	5.8
89	5.8
90	5.9
91	5.9
92	5.9
93	5.9
94	5.9
95	5.9
96	5.9
97	5.9
98	5.9
99	5.9
100	5.9
101	5.9
102	5.9
103	5.9
104	5.9
105	6
106	6
107	6
108	6
109	6
110	6

111	6
112	6
113	6.1
114	6.1
115	6.1
116	6.1
117	6.1
118	6.1

119	6.1
120	6.2
121	6.2
122	6.2
123	6.2
124	6.3
125	6.3
126	6.3

Utilizando el comando “mediana” del software Microsoft Excel, se obtiene el valor de la mediana.

Tabla 9. Nivel de radiación kW/m2.

N° Medición	Nivel de radiación KW-h/m2
1	3.9
2	4
3	4.1
4	4.2
123	6.2
124	6.3
125	6.3
126	6.3
	5.3
	MEDIANA(C7:C132)

Fuente: propia

Niveles de radiación solar en Cajamarca

Nº Medición	Nivel de radiación KW-h/m2
1	4
2	4.1
3	4.3
4	4.3
5	4.3
6	4.4
7	4.4
8	4.4
9	4.5
10	4.5
11	4.6
12	4.6
13	4.6
14	4.6
15	4.8
16	4.8
17	4.8
18	4.8
19	4.9
20	4.9
21	4.9
22	4.9
23	4.9
24	5
25	5
26	5
27	5
28	5
29	5
30	5.1
31	5.1
32	5.1
33	5.1
34	5.1
35	5.1
36	5.1
37	5.2
38	5.2

39	5.2
40	5.2
41	5.2
42	5.2
43	5.2
44	5.2
45	5.3
46	5.3
47	5.3
48	5.3
49	5.3
50	5.3
51	5.3
52	5.3
53	5.4
54	5.4
55	5.4
56	5.4
57	5.4
58	5.5
59	5.5
60	5.5
61	5.5
62	5.6
63	5.6
64	5.6
65	5.6
66	5.7
67	5.7
68	5.8
69	5.8
70	5.8
71	5.8
72	5.8
73	5.9
74	5.9
75	5.9
76	5.9
77	5.9
78	5.9
79	5.9

80	6
81	6
82	6
83	6
84	6
85	6.1
86	6.1
87	6.1
88	6.1
89	6.1
90	6.1
91	6.1
92	6.1
93	6.1
94	6.1
95	6.1
96	6.1
97	6.1
98	6.1
99	6.1
100	6.1
101	6.1
102	6.1
103	6.1

104	6.2
105	6.2
106	6.2
107	6.2
108	6.2
109	6.2
110	6.3
111	6.3
112	6.3
113	6.3
114	6.3
115	6.3
116	6.3
117	6.3
118	6.3
119	6.3
120	6.4
121	6.4
122	6.4
123	6.4
124	6.5
125	6.5
126	6.5

Utilizando el comando “mediana” del software Microsoft Excel, se obtiene el valor de la mediana.

Tabla 10. Nivel de radiación kW-h/m2

N° Medición	Nivel de radiación KW-h/m2
1	4
2	4.1
3	4.3
4	4.3
122	6.4
123	6.4
124	6.5
125	6.5
126	6.5
	5.6
	MEDIANA(B8:B133)

Fuente: propia.

Análisis utilizando el método probabilístico de Weibull

Tabla 11. Método probabilístico de Weibull.

Radiación Solar KW-H/m2	Ranking	Mediana (M-0.3)/(N+.04)	1/(1-M)	Y = ln(ln(1/(1-Mediana)))	X = ln(Radiación solar)	X.Y	X2
3.9	1	0.00	1.00	-6.55	1.36	-8.91	1.85
4.0	2	0.00	1.00	-5.66	1.38	-7.79	1.89
4.0	3	0.01	1.01	-5.20	1.39	-7.20	1.92
4.0	4	0.01	1.01	-4.88	1.39	-6.78	1.93
4.1	5	0.01	1.01	-4.64	1.41	-6.52	1.98
4.1	6	0.01	1.01	-4.44	1.41	-6.25	1.98
4.1	7	0.01	1.01	-4.28	1.41	-6.04	1.99
4.1	8	0.02	1.02	-4.14	1.41	-5.84	1.99
4.1	9	0.02	1.02	-4.02	1.41	-5.67	1.99
4.1	10	0.02	1.02	-3.91	1.41	-5.52	1.99
4.1	11	0.02	1.02	-3.81	1.42	-5.41	2.02
4.2	12	0.02	1.02	-3.72	1.44	-5.34	2.06
4.2	13	0.03	1.03	-3.64	1.44	-5.22	2.06
4.2	14	0.03	1.03	-3.56	1.44	-5.11	2.06
4.2	15	0.03	1.03	-3.49	1.44	-5.01	2.06
4.2	16	0.03	1.03	-3.42	1.44	-4.94	2.09
4.3	17	0.03	1.04	-3.36	1.45	-4.87	2.10
4.3	18	0.04	1.04	-3.30	1.45	-4.78	2.10
4.3	19	0.04	1.04	-3.24	1.45	-4.70	2.10
4.3	20	0.04	1.04	-3.19	1.45	-4.63	2.11
4.3	21	0.04	1.04	-3.14	1.46	-4.58	2.13
4.3	22	0.04	1.05	-3.09	1.46	-4.51	2.13
4.3	23	0.05	1.05	-3.05	1.46	-4.44	2.13
4.3	24	0.05	1.05	-3.00	1.46	-4.38	2.13
4.3	25	0.05	1.05	-2.96	1.46	-4.32	2.13
4.3	26	0.05	1.06	-2.92	1.46	-4.26	2.13
4.3	27	0.05	1.06	-2.88	1.46	-4.20	2.13
4.3	28	0.06	1.06	-2.84	1.46	-4.14	2.13
4.3	29	0.06	1.06	-2.80	1.46	-4.09	2.13
4.3	30	0.06	1.06	-2.77	1.46	-4.06	2.15
4.3	31	0.06	1.07	-2.73	1.46	-4.01	2.15
4.4	32	0.06	1.07	-2.70	1.47	-3.98	2.17
4.4	33	0.07	1.07	-2.67	1.47	-3.94	2.17
4.4	34	0.07	1.07	-2.64	1.47	-3.89	2.17
4.4	35	0.07	1.08	-2.61	1.48	-3.86	2.20
4.4	36	0.07	1.08	-2.58	1.48	-3.82	2.20
4.4	37	0.08	1.08	-2.55	1.48	-3.78	2.20
4.4	38	0.08	1.08	-2.52	1.48	-3.74	2.20
4.4	39	0.08	1.09	-2.49	1.48	-3.70	2.20
4.4	40	0.08	1.09	-2.47	1.48	-3.66	2.20
4.4	41	0.08	1.09	-2.44	1.48	-3.62	2.20
4.4	42	0.09	1.09	-2.42	1.49	-3.60	2.21

4.4	43	0.09	1.10	-2.39	1.49	-3.56	2.21
4.4	44	0.09	1.10	-2.37	1.49	-3.53	2.22
4.4	45	0.09	1.10	-2.34	1.49	-3.49	2.22
4.5	46	0.09	1.10	-2.32	1.50	-3.48	2.24
4.5	47	0.10	1.11	-2.30	1.50	-3.44	2.24
4.5	48	0.10	1.11	-2.28	1.50	-3.42	2.25
4.5	49	0.10	1.11	-2.25	1.50	-3.38	2.25
4.5	50	0.10	1.11	-2.23	1.50	-3.36	2.26
4.5	51	0.10	1.12	-2.21	1.50	-3.33	2.26
4.5	52	0.11	1.12	-2.19	1.50	-3.29	2.26
4.5	53	0.11	1.12	-2.17	1.50	-3.26	2.26
4.5	54	0.11	1.12	-2.15	1.51	-3.25	2.28
4.6	55	0.11	1.13	-2.13	1.52	-3.24	2.31
4.6	56	0.11	1.13	-2.11	1.52	-3.21	2.31
4.6	57	0.12	1.13	-2.09	1.52	-3.18	2.31
4.6	58	0.12	1.13	-2.07	1.52	-3.15	2.31
4.6	59	0.12	1.14	-2.06	1.53	-3.14	2.33
4.6	60	0.12	1.14	-2.04	1.53	-3.11	2.33
4.6	61	0.12	1.14	-2.02	1.53	-3.08	2.33
4.6	62	0.13	1.14	-2.00	1.53	-3.06	2.33
4.6	63	0.13	1.15	-1.98	1.53	-3.03	2.33
4.6	64	0.13	1.15	-1.97	1.53	-3.00	2.33
4.6	65	0.13	1.15	-1.95	1.53	-2.98	2.33
4.6	66	0.13	1.16	-1.93	1.53	-2.97	2.35
4.6	67	0.14	1.16	-1.92	1.53	-2.94	2.35
4.6	68	0.14	1.16	-1.90	1.53	-2.92	2.35
4.7	69	0.14	1.16	-1.89	1.54	-2.90	2.36
4.7	70	0.14	1.17	-1.87	1.54	-2.88	2.37
4.7	71	0.14	1.17	-1.86	1.54	-2.86	2.37
4.7	72	0.15	1.17	-1.84	1.54	-2.83	2.37
4.7	73	0.15	1.17	-1.83	1.54	-2.82	2.38
4.7	74	0.15	1.18	-1.81	1.54	-2.79	2.38
4.7	75	0.15	1.18	-1.80	1.55	-2.78	2.39
4.7	76	0.15	1.18	-1.78	1.55	-2.76	2.39
4.7	77	0.16	1.19	-1.77	1.55	-2.73	2.39
4.8	78	0.16	1.19	-1.75	1.56	-2.73	2.43
4.8	79	0.16	1.19	-1.74	1.56	-2.71	2.43
4.8	80	0.16	1.20	-1.73	1.57	-2.70	2.45
4.8	81	0.17	1.20	-1.71	1.57	-2.68	2.46
4.8	82	0.17	1.20	-1.70	1.57	-2.66	2.46
4.8	83	0.17	1.20	-1.68	1.57	-2.64	2.46
4.8	84	0.17	1.21	-1.67	1.57	-2.62	2.46
4.8	85	0.17	1.21	-1.66	1.57	-2.60	2.46
4.8	86	0.18	1.21	-1.65	1.57	-2.58	2.46
4.8	87	0.18	1.22	-1.63	1.57	-2.56	2.46
4.8	88	0.18	1.22	-1.62	1.57	-2.54	2.46
4.8	89	0.18	1.22	-1.61	1.57	-2.52	2.46
4.8	90	0.18	1.22	-1.59	1.57	-2.50	2.46

4.8	91	0.19	1.23	-1.58	1.57	-2.48	2.46
4.8	92	0.19	1.23	-1.57	1.57	-2.46	2.46
4.8	93	0.19	1.23	-1.56	1.58	-2.46	2.49
4.9	94	0.19	1.24	-1.55	1.58	-2.44	2.49
4.9	95	0.19	1.24	-1.53	1.58	-2.42	2.49
4.9	96	0.20	1.24	-1.52	1.59	-2.42	2.53
4.9	97	0.20	1.25	-1.51	1.59	-2.40	2.53
4.9	98	0.20	1.25	-1.50	1.59	-2.38	2.53
4.9	99	0.20	1.25	-1.49	1.59	-2.37	2.53
4.9	100	0.20	1.26	-1.48	1.59	-2.35	2.53
4.9	101	0.21	1.26	-1.47	1.59	-2.33	2.53
4.9	102	0.21	1.26	-1.45	1.59	-2.31	2.53
4.9	103	0.21	1.27	-1.44	1.59	-2.29	2.53
4.9	104	0.21	1.27	-1.43	1.59	-2.28	2.53
4.9	105	0.21	1.27	-1.42	1.59	-2.26	2.53
4.9	106	0.22	1.28	-1.41	1.59	-2.24	2.53
4.9	107	0.22	1.28	-1.40	1.59	-2.23	2.53
4.9	108	0.22	1.28	-1.39	1.59	-2.21	2.53
4.9	109	0.22	1.29	-1.38	1.59	-2.19	2.53
4.9	110	0.22	1.29	-1.37	1.59	-2.18	2.53
4.9	111	0.23	1.29	-1.36	1.59	-2.16	2.53
4.9	112	0.23	1.30	-1.35	1.59	-2.14	2.53
4.9	113	0.23	1.30	-1.34	1.59	-2.13	2.53
4.9	114	0.23	1.30	-1.33	1.59	-2.11	2.53
4.9	115	0.23	1.31	-1.32	1.59	-2.09	2.53
4.9	116	0.24	1.31	-1.31	1.59	-2.08	2.53
4.9	117	0.24	1.31	-1.30	1.59	-2.06	2.53
4.9	118	0.24	1.32	-1.29	1.59	-2.05	2.53
4.9	119	0.24	1.32	-1.28	1.60	-2.04	2.55
4.9	120	0.25	1.32	-1.27	1.60	-2.03	2.56
5.0	121	0.25	1.33	-1.26	1.60	-2.01	2.56
5.0	122	0.25	1.33	-1.25	1.60	-2.00	2.56
5.0	123	0.25	1.34	-1.24	1.60	-1.98	2.56
5.0	124	0.25	1.34	-1.23	1.60	-1.97	2.56
5.0	125	0.26	1.34	-1.22	1.60	-1.95	2.56
5.0	126	0.26	1.35	-1.21	1.60	-1.94	2.56
5.0	127	0.26	1.35	-1.20	1.60	-1.92	2.56
5.0	128	0.26	1.35	-1.19	1.60	-1.91	2.56
5.0	129	0.26	1.36	-1.18	1.61	-1.90	2.59
5.0	130	0.27	1.36	-1.18	1.61	-1.89	2.59
5.0	131	0.27	1.37	-1.17	1.61	-1.88	2.59
5.0	132	0.27	1.37	-1.16	1.61	-1.86	2.59
5.0	133	0.27	1.37	-1.15	1.61	-1.85	2.59
5.0	134	0.27	1.38	-1.14	1.62	-1.85	2.62
5.0	135	0.28	1.38	-1.13	1.62	-1.83	2.62
5.0	136	0.28	1.38	-1.12	1.62	-1.82	2.62
5.0	137	0.28	1.39	-1.11	1.62	-1.80	2.62
5.0	138	0.28	1.39	-1.11	1.62	-1.79	2.62

5.0	139	0.28	1.40	-1.10	1.62	-1.77	2.62
5.0	140	0.29	1.40	-1.09	1.62	-1.76	2.62
5.0	141	0.29	1.40	-1.08	1.62	-1.75	2.62
5.0	142	0.29	1.41	-1.07	1.62	-1.73	2.62
5.1	143	0.29	1.41	-1.06	1.62	-1.72	2.62
5.1	144	0.29	1.42	-1.05	1.62	-1.71	2.62
5.1	145	0.30	1.42	-1.05	1.62	-1.69	2.62
5.1	146	0.30	1.43	-1.04	1.63	-1.69	2.65
5.1	147	0.30	1.43	-1.03	1.63	-1.68	2.65
5.1	148	0.30	1.43	-1.02	1.63	-1.66	2.65
5.1	149	0.30	1.44	-1.01	1.63	-1.65	2.65
5.1	150	0.31	1.44	-1.01	1.63	-1.64	2.65
5.1	151	0.31	1.45	-1.00	1.63	-1.62	2.65
5.1	152	0.31	1.45	-0.99	1.63	-1.61	2.65
5.1	153	0.31	1.45	-0.98	1.63	-1.60	2.65
5.1	154	0.31	1.46	-0.97	1.63	-1.59	2.65
5.1	155	0.32	1.46	-0.97	1.63	-1.57	2.65
5.1	156	0.32	1.47	-0.96	1.63	-1.56	2.65
5.1	157	0.32	1.47	-0.95	1.63	-1.55	2.65
5.1	158	0.32	1.48	-0.94	1.63	-1.53	2.65
5.1	159	0.32	1.48	-0.93	1.63	-1.52	2.65
5.1	160	0.33	1.49	-0.93	1.63	-1.51	2.65
5.1	161	0.33	1.49	-0.92	1.63	-1.50	2.65
5.1	162	0.33	1.49	-0.91	1.63	-1.48	2.65
5.1	163	0.33	1.50	-0.90	1.63	-1.47	2.65
5.1	164	0.34	1.50	-0.90	1.63	-1.46	2.65
5.1	165	0.34	1.51	-0.89	1.63	-1.45	2.65
5.1	166	0.34	1.51	-0.88	1.63	-1.44	2.65
5.1	167	0.34	1.52	-0.87	1.63	-1.42	2.65
5.1	168	0.34	1.52	-0.87	1.63	-1.41	2.65
5.1	169	0.35	1.53	-0.86	1.63	-1.40	2.65
5.1	170	0.35	1.53	-0.85	1.63	-1.39	2.65
5.1	171	0.35	1.54	-0.84	1.63	-1.37	2.65
5.1	172	0.35	1.54	-0.84	1.63	-1.36	2.65
5.1	173	0.35	1.55	-0.83	1.63	-1.35	2.65
5.1	174	0.36	1.55	-0.82	1.64	-1.35	2.68
5.1	175	0.36	1.56	-0.81	1.64	-1.33	2.68
5.2	176	0.36	1.56	-0.81	1.65	-1.33	2.72
5.2	177	0.36	1.57	-0.80	1.65	-1.32	2.72
5.2	178	0.36	1.57	-0.79	1.65	-1.31	2.72
5.2	179	0.37	1.58	-0.79	1.65	-1.30	2.72
5.2	180	0.37	1.58	-0.78	1.65	-1.28	2.72
5.2	181	0.37	1.59	-0.77	1.65	-1.27	2.72
5.2	182	0.37	1.59	-0.77	1.65	-1.26	2.72
5.2	183	0.37	1.60	-0.76	1.65	-1.25	2.72
5.2	184	0.38	1.60	-0.75	1.65	-1.24	2.72
5.2	185	0.38	1.61	-0.74	1.65	-1.23	2.72
5.2	186	0.38	1.61	-0.74	1.65	-1.22	2.72

5.2	187	0.38	1.62	-0.73	1.65	-1.20	2.72
5.2	188	0.38	1.62	-0.72	1.65	-1.19	2.72
5.2	189	0.39	1.63	-0.72	1.65	-1.18	2.72
5.2	190	0.39	1.64	-0.71	1.65	-1.17	2.72
5.2	191	0.39	1.64	-0.70	1.65	-1.16	2.72
5.2	192	0.39	1.65	-0.70	1.65	-1.15	2.72
5.2	193	0.39	1.65	-0.69	1.65	-1.14	2.72
5.2	194	0.40	1.66	-0.68	1.65	-1.13	2.72
5.2	195	0.40	1.66	-0.68	1.65	-1.11	2.72
5.2	196	0.40	1.67	-0.67	1.66	-1.11	2.75
5.2	197	0.40	1.67	-0.66	1.66	-1.10	2.75
5.2	198	0.40	1.68	-0.66	1.66	-1.09	2.75
5.2	199	0.41	1.69	-0.65	1.66	-1.08	2.75
5.2	200	0.41	1.69	-0.64	1.66	-1.07	2.75
5.3	201	0.41	1.70	-0.64	1.66	-1.06	2.75
5.3	202	0.41	1.70	-0.63	1.66	-1.04	2.75
5.3	203	0.42	1.71	-0.62	1.67	-1.04	2.78
5.3	204	0.42	1.72	-0.62	1.67	-1.03	2.78
5.3	205	0.42	1.72	-0.61	1.67	-1.02	2.78
5.3	206	0.42	1.73	-0.60	1.67	-1.01	2.78
5.3	207	0.42	1.73	-0.60	1.67	-1.00	2.78
5.3	208	0.43	1.74	-0.59	1.67	-0.99	2.78
5.3	209	0.43	1.75	-0.58	1.67	-0.97	2.78
5.3	210	0.43	1.75	-0.58	1.67	-0.96	2.78
5.3	211	0.43	1.76	-0.57	1.67	-0.95	2.78
5.3	212	0.43	1.77	-0.57	1.67	-0.94	2.78
5.3	213	0.44	1.77	-0.56	1.67	-0.93	2.78
5.3	214	0.44	1.78	-0.55	1.67	-0.92	2.78
5.3	215	0.44	1.78	-0.55	1.67	-0.91	2.78
5.3	216	0.44	1.79	-0.54	1.67	-0.90	2.78
5.3	217	0.44	1.80	-0.53	1.67	-0.89	2.78
5.3	218	0.45	1.80	-0.53	1.67	-0.88	2.78
5.3	219	0.45	1.81	-0.52	1.67	-0.87	2.78
5.3	220	0.45	1.82	-0.51	1.67	-0.86	2.78
5.3	221	0.45	1.82	-0.51	1.67	-0.85	2.78
5.3	222	0.45	1.83	-0.50	1.67	-0.84	2.78
5.3	223	0.46	1.84	-0.50	1.67	-0.83	2.78
5.3	224	0.46	1.85	-0.49	1.67	-0.82	2.78
5.3	225	0.46	1.85	-0.48	1.67	-0.81	2.78
5.3	226	0.46	1.86	-0.48	1.67	-0.80	2.78
5.3	227	0.46	1.87	-0.47	1.67	-0.79	2.78
5.3	228	0.47	1.87	-0.47	1.67	-0.78	2.78
5.3	229	0.47	1.88	-0.46	1.68	-0.77	2.81
5.3	230	0.47	1.89	-0.45	1.68	-0.76	2.81
5.3	231	0.47	1.90	-0.45	1.68	-0.75	2.81
5.4	232	0.47	1.90	-0.44	1.69	-0.74	2.84
5.4	233	0.48	1.91	-0.44	1.69	-0.73	2.84
5.4	234	0.48	1.92	-0.43	1.69	-0.72	2.84

5.4	235	0.48	1.93	-0.42	1.69	-0.71	2.84
5.4	236	0.48	1.93	-0.42	1.69	-0.70	2.84
5.4	237	0.48	1.94	-0.41	1.69	-0.69	2.84
5.4	238	0.49	1.95	-0.41	1.69	-0.68	2.84
5.4	239	0.49	1.96	-0.40	1.69	-0.67	2.84
5.4	240	0.49	1.96	-0.39	1.69	-0.66	2.84
5.4	241	0.49	1.97	-0.39	1.69	-0.65	2.84
5.4	242	0.49	1.98	-0.38	1.69	-0.64	2.84
5.4	243	0.50	1.99	-0.38	1.69	-0.63	2.84
5.4	244	0.50	2.00	-0.37	1.69	-0.62	2.84
5.4	245	0.50	2.00	-0.36	1.69	-0.61	2.84
5.4	246	0.50	2.01	-0.36	1.69	-0.60	2.84
5.4	247	0.51	2.02	-0.35	1.69	-0.59	2.84
5.4	248	0.51	2.03	-0.35	1.69	-0.58	2.84
5.4	249	0.51	2.04	-0.34	1.69	-0.57	2.84
5.4	250	0.51	2.05	-0.33	1.69	-0.56	2.84
5.4	251	0.51	2.05	-0.33	1.69	-0.55	2.85
5.4	252	0.52	2.06	-0.32	1.69	-0.54	2.85
5.4	253	0.52	2.07	-0.32	1.69	-0.53	2.85
5.4	254	0.52	2.08	-0.31	1.69	-0.52	2.85
5.4	255	0.52	2.09	-0.31	1.69	-0.51	2.85
5.4	256	0.52	2.10	-0.30	1.69	-0.51	2.87
5.5	257	0.53	2.11	-0.29	1.70	-0.50	2.88
5.5	258	0.53	2.12	-0.29	1.70	-0.49	2.88
5.5	259	0.53	2.13	-0.28	1.70	-0.48	2.88
5.5	260	0.53	2.14	-0.28	1.70	-0.47	2.91
5.5	261	0.53	2.14	-0.27	1.70	-0.46	2.91
5.5	262	0.54	2.15	-0.26	1.70	-0.45	2.91
5.5	263	0.54	2.16	-0.26	1.71	-0.44	2.91
5.5	264	0.54	2.17	-0.25	1.71	-0.43	2.91
5.5	265	0.54	2.18	-0.25	1.71	-0.42	2.91
5.5	266	0.54	2.19	-0.24	1.71	-0.41	2.91
5.5	267	0.55	2.20	-0.24	1.71	-0.40	2.93
5.5	268	0.55	2.21	-0.23	1.71	-0.39	2.93
5.6	269	0.55	2.22	-0.22	1.72	-0.39	2.94
5.6	270	0.55	2.23	-0.22	1.72	-0.38	2.94
5.6	271	0.55	2.24	-0.21	1.72	-0.37	2.97
5.6	272	0.56	2.25	-0.21	1.72	-0.36	2.97
5.6	273	0.56	2.26	-0.20	1.72	-0.35	2.97
5.6	274	0.56	2.27	-0.20	1.72	-0.34	2.97
5.6	275	0.56	2.29	-0.19	1.72	-0.33	2.97
5.6	276	0.56	2.30	-0.18	1.72	-0.32	2.97
5.6	277	0.57	2.31	-0.18	1.72	-0.31	2.97
5.6	278	0.57	2.32	-0.17	1.73	-0.30	2.99
5.6	279	0.57	2.33	-0.17	1.73	-0.29	2.99
5.7	280	0.57	2.34	-0.16	1.74	-0.28	3.03
5.7	281	0.57	2.35	-0.16	1.74	-0.27	3.03
5.7	282	0.58	2.36	-0.15	1.74	-0.26	3.03

5.7	283	0.58	2.37	-0.15	1.74	-0.25	3.03
5.7	284	0.58	2.39	-0.14	1.74	-0.24	3.03
5.7	285	0.58	2.40	-0.13	1.74	-0.23	3.03
5.7	286	0.58	2.41	-0.13	1.74	-0.22	3.03
5.7	287	0.59	2.42	-0.12	1.75	-0.21	3.05
5.7	288	0.59	2.43	-0.12	1.75	-0.20	3.05
5.7	289	0.59	2.45	-0.11	1.75	-0.19	3.05
5.7	290	0.59	2.46	-0.11	1.75	-0.19	3.05
5.8	291	0.60	2.47	-0.10	1.75	-0.18	3.06
5.8	292	0.60	2.48	-0.09	1.75	-0.17	3.07
5.8	293	0.60	2.50	-0.09	1.75	-0.16	3.07
5.8	294	0.60	2.51	-0.08	1.76	-0.15	3.09
5.8	295	0.60	2.52	-0.08	1.76	-0.14	3.09
5.8	296	0.61	2.53	-0.07	1.76	-0.13	3.09
5.8	297	0.61	2.55	-0.07	1.76	-0.12	3.09
5.8	298	0.61	2.56	-0.06	1.76	-0.11	3.09
5.8	299	0.61	2.57	-0.06	1.76	-0.10	3.09
5.8	300	0.61	2.59	-0.05	1.76	-0.09	3.09
5.8	301	0.62	2.60	-0.04	1.76	-0.08	3.09
5.8	302	0.62	2.62	-0.04	1.76	-0.07	3.09
5.8	303	0.62	2.63	-0.03	1.76	-0.06	3.09
5.8	304	0.62	2.64	-0.03	1.76	-0.05	3.09
5.8	305	0.62	2.66	-0.02	1.76	-0.04	3.09
5.8	306	0.63	2.67	-0.02	1.76	-0.03	3.09
5.8	307	0.63	2.69	-0.01	1.76	-0.02	3.09
5.8	308	0.63	2.70	-0.01	1.76	-0.01	3.09
5.8	309	0.63	2.72	0.00	1.76	0.00	3.09
5.8	310	0.63	2.73	0.01	1.76	0.01	3.09
5.8	311	0.64	2.75	0.01	1.77	0.02	3.12
5.8	312	0.64	2.76	0.02	1.77	0.03	3.12
5.9	313	0.64	2.78	0.02	1.77	0.04	3.13
5.9	314	0.64	2.80	0.03	1.77	0.05	3.15
5.9	315	0.64	2.81	0.03	1.77	0.06	3.15
5.9	316	0.65	2.83	0.04	1.77	0.07	3.15
5.9	317	0.65	2.84	0.04	1.77	0.08	3.15
5.9	318	0.65	2.86	0.05	1.77	0.09	3.15
5.9	319	0.65	2.88	0.06	1.77	0.10	3.15
5.9	320	0.65	2.90	0.06	1.77	0.11	3.15
5.9	321	0.66	2.91	0.07	1.77	0.12	3.15
5.9	322	0.66	2.93	0.07	1.77	0.13	3.15
5.9	323	0.66	2.95	0.08	1.77	0.14	3.15
5.9	324	0.66	2.97	0.08	1.77	0.15	3.15
5.9	325	0.66	2.98	0.09	1.77	0.16	3.15
5.9	326	0.67	3.00	0.09	1.77	0.17	3.15
5.9	327	0.67	3.02	0.10	1.77	0.18	3.15
5.9	328	0.67	3.04	0.11	1.77	0.19	3.15
5.9	329	0.67	3.06	0.11	1.77	0.20	3.15
5.9	330	0.68	3.08	0.12	1.77	0.21	3.15

5.9	331	0.68	3.10	0.12	1.77	0.22	3.15
5.9	332	0.68	3.12	0.13	1.77	0.23	3.15
5.9	333	0.68	3.14	0.13	1.77	0.24	3.15
5.9	334	0.68	3.16	0.14	1.77	0.25	3.15
5.9	335	0.69	3.18	0.15	1.77	0.26	3.15
5.9	336	0.69	3.20	0.15	1.77	0.27	3.15
5.9	337	0.69	3.22	0.16	1.77	0.28	3.15
5.9	338	0.69	3.24	0.16	1.77	0.29	3.15
5.9	339	0.69	3.26	0.17	1.77	0.30	3.15
5.9	340	0.70	3.28	0.17	1.77	0.31	3.15
5.9	341	0.70	3.31	0.18	1.77	0.32	3.15
5.9	342	0.70	3.33	0.18	1.77	0.33	3.15
5.9	343	0.70	3.35	0.19	1.77	0.34	3.15
5.9	344	0.70	3.38	0.20	1.77	0.35	3.15
5.9	345	0.71	3.40	0.20	1.77	0.36	3.15
5.9	346	0.71	3.42	0.21	1.77	0.37	3.15
5.9	347	0.71	3.45	0.21	1.77	0.38	3.15
5.9	348	0.71	3.47	0.22	1.77	0.39	3.15
5.9	349	0.71	3.50	0.22	1.77	0.40	3.15
5.9	350	0.72	3.52	0.23	1.77	0.41	3.15
5.9	351	0.72	3.55	0.24	1.78	0.42	3.16
5.9	352	0.72	3.57	0.24	1.78	0.43	3.16
5.9	353	0.72	3.60	0.25	1.78	0.44	3.16
5.9	354	0.72	3.63	0.25	1.78	0.45	3.16
5.9	355	0.73	3.65	0.26	1.78	0.46	3.16
5.9	356	0.73	3.68	0.26	1.78	0.47	3.16
5.9	357	0.73	3.71	0.27	1.78	0.48	3.16
5.9	358	0.73	3.74	0.28	1.78	0.49	3.17
5.9	359	0.73	3.77	0.28	1.78	0.50	3.17
6.0	360	0.74	3.79	0.29	1.78	0.51	3.18
6.0	361	0.74	3.82	0.29	1.78	0.52	3.18
6.0	362	0.74	3.85	0.30	1.78	0.53	3.18
6.0	363	0.74	3.89	0.31	1.79	0.55	3.19
6.0	364	0.74	3.92	0.31	1.79	0.56	3.19
6.0	365	0.75	3.95	0.32	1.79	0.57	3.19
6.0	366	0.75	3.98	0.32	1.79	0.58	3.19
6.0	367	0.75	4.01	0.33	1.79	0.59	3.21
6.0	368	0.75	4.05	0.33	1.79	0.60	3.21
6.0	369	0.75	4.08	0.34	1.79	0.61	3.22
6.0	370	0.76	4.11	0.35	1.79	0.62	3.22
6.0	371	0.76	4.15	0.35	1.79	0.63	3.22
6.0	372	0.76	4.19	0.36	1.79	0.64	3.22
6.0	373	0.76	4.22	0.36	1.79	0.65	3.22
6.0	374	0.77	4.26	0.37	1.79	0.67	3.22
6.0	375	0.77	4.30	0.38	1.79	0.68	3.22
6.0	376	0.77	4.33	0.38	1.79	0.69	3.22
6.0	377	0.77	4.37	0.39	1.80	0.70	3.23
6.0	378	0.77	4.41	0.39	1.80	0.71	3.23

6.1	379	0.78	4.45	0.40	1.80	0.72	3.26
6.1	380	0.78	4.49	0.41	1.80	0.73	3.26
6.1	381	0.78	4.53	0.41	1.80	0.75	3.26
6.1	382	0.78	4.58	0.42	1.80	0.76	3.26
6.1	383	0.78	4.62	0.43	1.80	0.77	3.26
6.1	384	0.79	4.66	0.43	1.80	0.78	3.26
6.1	385	0.79	4.71	0.44	1.80	0.79	3.26
6.1	386	0.79	4.76	0.44	1.80	0.80	3.26
6.1	387	0.79	4.80	0.45	1.80	0.81	3.26
6.1	388	0.79	4.85	0.46	1.80	0.82	3.26
6.1	389	0.80	4.90	0.46	1.80	0.84	3.26
6.1	390	0.80	4.95	0.47	1.81	0.85	3.27
6.1	391	0.80	5.00	0.48	1.81	0.86	3.27
6.1	392	0.80	5.05	0.48	1.81	0.87	3.27
6.1	393	0.80	5.10	0.49	1.81	0.88	3.27
6.1	394	0.81	5.16	0.49	1.81	0.90	3.27
6.1	395	0.81	5.21	0.50	1.81	0.91	3.27
6.1	396	0.81	5.27	0.51	1.81	0.92	3.27
6.1	397	0.81	5.33	0.51	1.81	0.93	3.27
6.1	398	0.81	5.38	0.52	1.81	0.94	3.27
6.1	399	0.82	5.44	0.53	1.81	0.95	3.27
6.1	400	0.82	5.51	0.53	1.81	0.97	3.27
6.1	401	0.82	5.57	0.54	1.81	0.98	3.27
6.1	402	0.82	5.63	0.55	1.81	0.99	3.27
6.1	403	0.82	5.70	0.55	1.81	1.00	3.27
6.1	404	0.83	5.77	0.56	1.81	1.01	3.27
6.1	405	0.83	5.84	0.57	1.81	1.03	3.27
6.1	406	0.83	5.91	0.57	1.81	1.04	3.27
6.1	407	0.83	5.98	0.58	1.81	1.05	3.27
6.1	408	0.83	6.05	0.59	1.81	1.06	3.27
6.1	409	0.84	6.13	0.59	1.81	1.08	3.27
6.1	410	0.84	6.21	0.60	1.81	1.09	3.27
6.1	411	0.84	6.29	0.61	1.81	1.10	3.27
6.1	412	0.84	6.37	0.62	1.81	1.11	3.27
6.1	413	0.85	6.45	0.62	1.81	1.13	3.27
6.1	414	0.85	6.54	0.63	1.81	1.14	3.27
6.1	415	0.85	6.63	0.64	1.81	1.15	3.27
6.1	416	0.85	6.72	0.64	1.81	1.17	3.27
6.1	417	0.85	6.81	0.65	1.81	1.18	3.27
6.1	418	0.86	6.91	0.66	1.81	1.19	3.27
6.1	419	0.86	7.01	0.67	1.81	1.20	3.27
6.1	420	0.86	7.11	0.67	1.81	1.22	3.27
6.1	421	0.86	7.21	0.68	1.81	1.23	3.27
6.1	422	0.86	7.32	0.69	1.81	1.25	3.27
6.1	423	0.87	7.43	0.70	1.81	1.26	3.28
6.1	424	0.87	7.55	0.70	1.81	1.27	3.28
6.1	425	0.87	7.67	0.71	1.81	1.29	3.28
6.1	426	0.87	7.79	0.72	1.81	1.30	3.28

6.1	427	0.87	7.92	0.73	1.81	1.32	3.28
6.1	428	0.88	8.05	0.73	1.81	1.33	3.29
6.1	429	0.88	8.18	0.74	1.81	1.35	3.29
6.1	430	0.88	8.32	0.75	1.81	1.36	3.29
6.1	431	0.88	8.46	0.76	1.81	1.38	3.29
6.1	432	0.88	8.61	0.77	1.81	1.39	3.29
6.1	433	0.89	8.77	0.78	1.81	1.41	3.29
6.1	434	0.89	8.93	0.78	1.81	1.42	3.29
6.2	435	0.89	9.09	0.79	1.82	1.44	3.30
6.2	436	0.89	9.27	0.80	1.82	1.46	3.33
6.2	437	0.89	9.45	0.81	1.82	1.48	3.33
6.2	438	0.90	9.63	0.82	1.82	1.49	3.33
6.2	439	0.90	9.83	0.83	1.82	1.51	3.33
6.2	440	0.90	10.03	0.84	1.82	1.52	3.33
6.2	441	0.90	10.24	0.84	1.82	1.54	3.33
6.2	442	0.90	10.46	0.85	1.82	1.56	3.33
6.2	443	0.91	10.69	0.86	1.82	1.57	3.33
6.2	444	0.91	10.93	0.87	1.82	1.59	3.33
6.2	445	0.91	11.18	0.88	1.82	1.61	3.33
6.2	446	0.91	11.44	0.89	1.82	1.63	3.33
6.2	447	0.91	11.71	0.90	1.82	1.64	3.33
6.2	448	0.92	12.00	0.91	1.82	1.66	3.33
6.2	449	0.92	12.30	0.92	1.82	1.68	3.33
6.2	450	0.92	12.62	0.93	1.82	1.70	3.33
6.2	451	0.92	12.95	0.94	1.83	1.72	3.34
6.2	452	0.92	13.31	0.95	1.83	1.74	3.34
6.3	453	0.93	13.68	0.96	1.84	1.77	3.38
6.3	454	0.93	14.07	0.97	1.84	1.79	3.38
6.3	455	0.93	14.49	0.98	1.84	1.81	3.38
6.3	456	0.93	14.94	0.99	1.84	1.83	3.38
6.3	457	0.94	15.41	1.01	1.84	1.85	3.38
6.3	458	0.94	15.91	1.02	1.84	1.87	3.39
6.3	459	0.94	16.44	1.03	1.84	1.90	3.39
6.3	460	0.94	17.02	1.04	1.84	1.92	3.39
6.3	461	0.94	17.63	1.05	1.84	1.94	3.39
6.3	462	0.95	18.29	1.07	1.84	1.96	3.39
6.3	463	0.95	19.00	1.08	1.84	1.99	3.39
6.3	464	0.95	19.77	1.09	1.84	2.01	3.39
6.3	465	0.95	20.61	1.11	1.84	2.04	3.39
6.3	466	0.95	21.52	1.12	1.84	2.06	3.39
6.3	467	0.96	22.51	1.14	1.84	2.09	3.39
6.3	468	0.96	23.59	1.15	1.84	2.12	3.39
6.3	469	0.96	24.79	1.17	1.84	2.15	3.39
6.3	470	0.96	26.12	1.18	1.84	2.18	3.39
6.3	471	0.96	27.59	1.20	1.84	2.21	3.39
6.3	472	0.97	29.25	1.22	1.84	2.24	3.39
6.3	473	0.97	31.11	1.23	1.84	2.27	3.39
6.3	474	0.97	33.22	1.25	1.84	2.31	3.39

6.3	475	0.97	35.65	1.27	1.84	2.34	3.39
6.3	476	0.97	38.46	1.29	1.84	2.38	3.39
6.3	477	0.98	41.74	1.32	1.84	2.42	3.39
6.3	478	0.98	45.64	1.34	1.84	2.47	3.39
6.3	479	0.98	50.35	1.37	1.84	2.51	3.39
6.3	480	0.98	56.14	1.39	1.84	2.56	3.39
6.3	481	0.98	63.43	1.42	1.84	2.62	3.39
6.3	482	0.99	72.90	1.46	1.84	2.68	3.39
6.3	483	0.99	85.68	1.49	1.85	2.76	3.41
6.3	484	0.99	103.91	1.54	1.85	2.84	3.41
6.3	485	0.99	132.00	1.59	1.85	2.93	3.41
6.3	486	0.99	180.89	1.65	1.85	3.05	3.41
6.4	487	1.00	287.29	1.73	1.85	3.21	3.44
6.4	488	1.00	697.71	1.88	1.85	3.48	3.44
		suma		-280.5	821.4	-399.7	1389.6

Fuente: propia.

Distribución de Weibull

$$a = \frac{n \cdot \sum(X \cdot Y) - \sum X \cdot \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - |\sum X|^2}$$

$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \cdot \sum(X \cdot Y)}{n \cdot \sum X^2 - |\sum X|^2}$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$a = 10.34$$

$$b = -17.97 = k$$

La ecuación de la recta es:

$$Y = 10.34X - 17.97$$

De la expresión: $a = -k \ln(c)$ y $b=k$

Se tiene:

$$c = e^{\frac{-17.97}{-10.34}}$$

$$c = 5.68$$

Factor de forma k	Factor de escala c (KW-H/m2)
17.97	5.68

Probabilidad de ocurrencia de los niveles de radiación solar.

Se utiliza la ecuación de distribución de Weibull,

$$F(v) = \left(\frac{a}{c}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^{a-1}e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^a}$$

Reemplazando valores se tiene:

Tabla 12. Radiación solar kw-h/m2-probabilidad.

Radiación Solar KW-H/m2	Probabilidad
3.9	0.053
4	0.067
4.1	0.084
4.2	0.104
4.3	0.128
4.4	0.156
4.5	0.189
4.6	0.227
4.7	0.270
4.8	0.317
4.9	0.369
5	0.423
5.1	0.479
5.2	0.534
5.3	0.585
5.4	0.628
5.5	0.658
5.6	0.672
5.7	0.667
5.8	0.640
5.9	0.590
6	0.521
6.1	0.438
6.2	0.348
6.3	0.259
6.4	0.179
6.5	0.114

Fuente: propia.

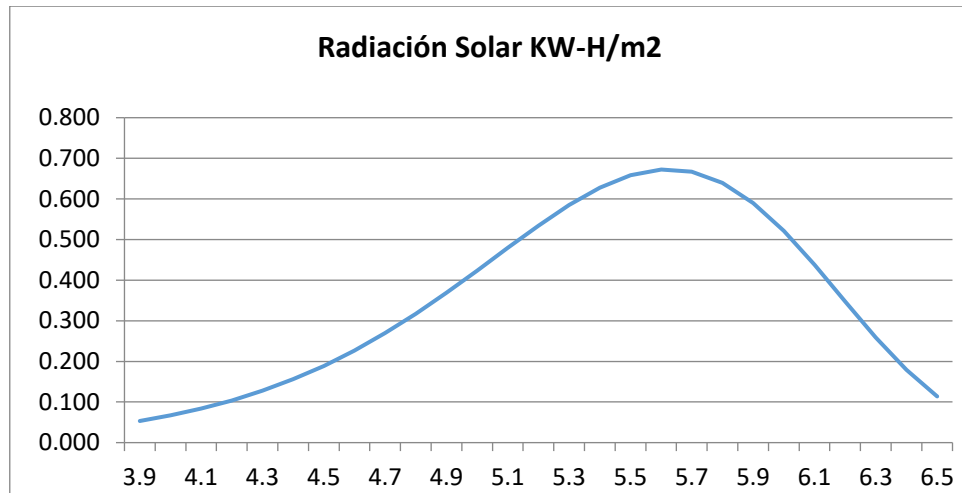


Figura 8. Radiación solar kW-h/m2.

La mayor probabilidad de ocurrencia del nivel de radiación solar es de 67% y será de un valor de 5.68 Kw-h/m2.

3.3 Determinar los Parámetros de funcionamiento del sistema de refrigeración con energía solar.

3.3.1. Elementos del circuito de refrigeración por absorción.

1. Condensador.

Los parámetros de diseño del Condensador son:

a) Ingreso. Estado termodinámico 5.

Temperatura: 35°C.

Fluido: Vapor saturado.

Presión de saturación: 5.62 KPa.

b) Salida. Estado termodinámico 4.

Temperatura: 35°C

Fluido: Líquido Saturado.

Presión de saturación: 5.62 KPa.

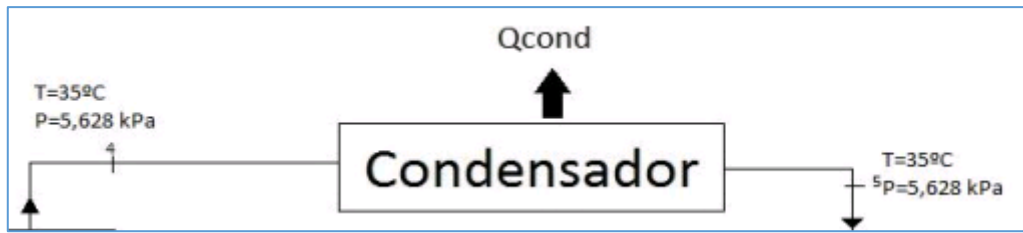


Figura 9. Condensador.

2. Evaporador.

Ingreso. Estado Termodinámico 1.

Temperatura: $18^{\circ}C$.

Fluido: Líquido Saturado.

Presión de saturación: 2.064 KPa.

Salida. Estado Termodinámico 2.

Temperatura: $18^{\circ}C$

Fluido: Vapor saturado.

Presión de saturación: 2.064 KPa.

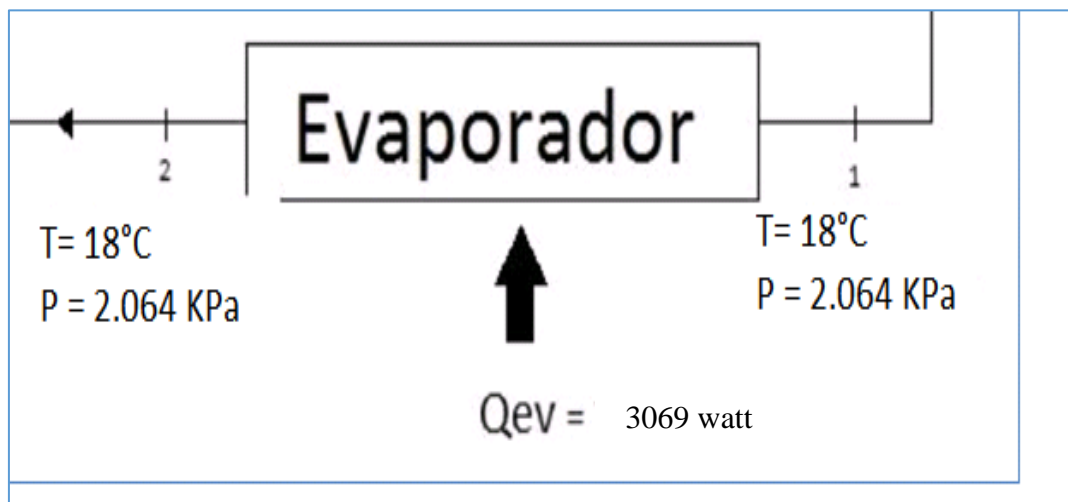


Figura10. Evaporador

3. Absorbedor.

Ingreso. Estado Termodinámico 2.

Temperatura: $18^{\circ}C$

Fluido: Vapor saturado.

Presión de saturación: 2.064 KPa.

Salida. Estado Termodinámico 3.

Temperatura: 35°C

Fluido: Mezcla Bromuro de Litio – Agua.

Presión de saturación: 0.872 KPa.

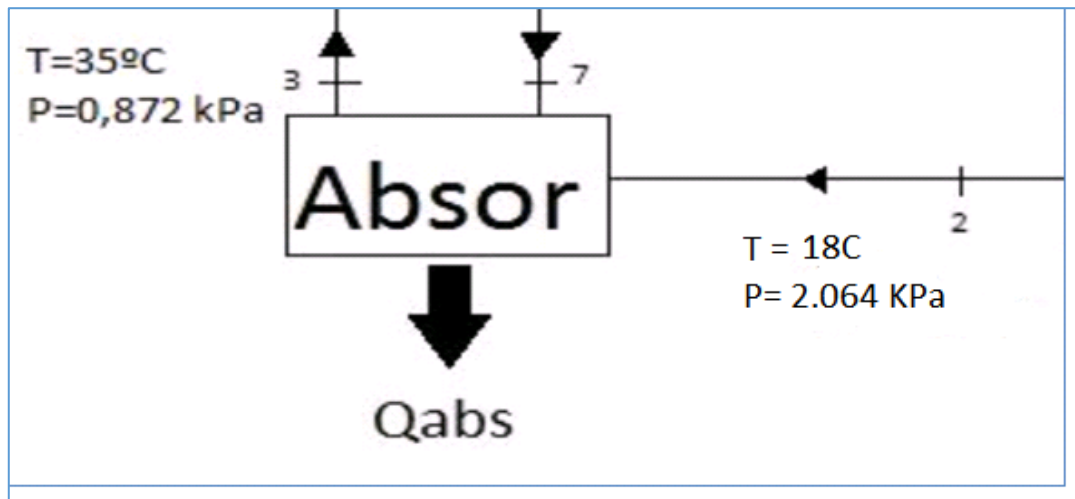


Figura 11. Absor.

4. Generador.

Ingreso. Calor energía solar.

Salida. Estado Termodinámico 4.

Temperatura: 35°C

Fluido: Líquido Saturado.

Presión de saturación: 5.62 KPa.

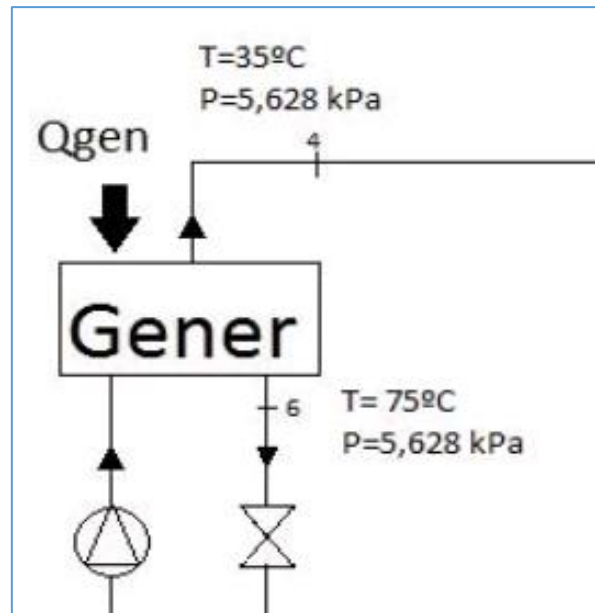


Figura 12. Gener.

Circuito de Refrigeración por Absorción con Energía Solar.

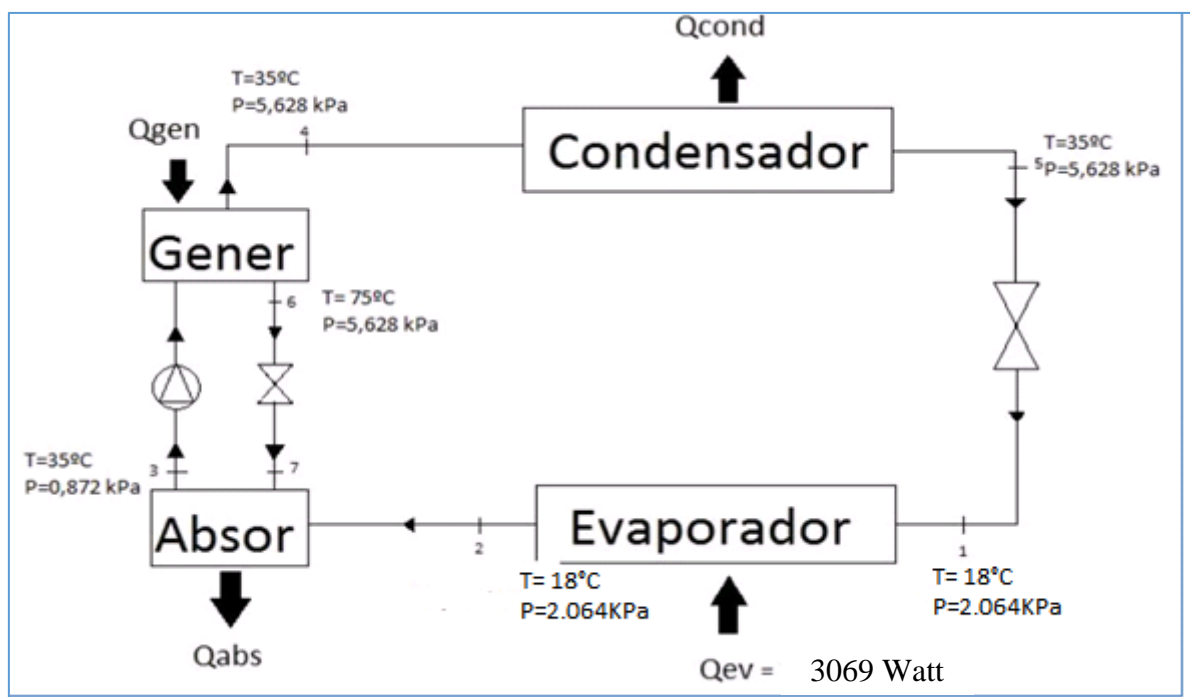


Figura 13. Circuito de refrigeración por Absorción con energía solar.

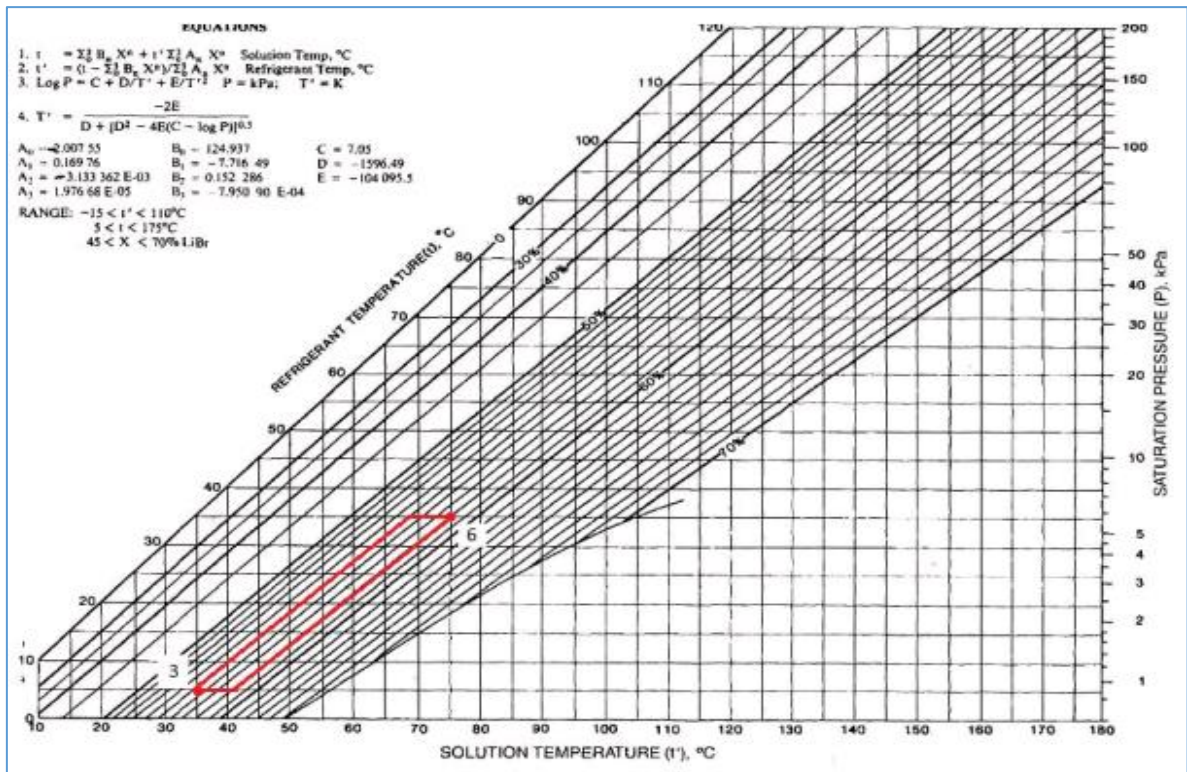
Tabla 13. Estado termodinámico en la máquina de absorción.

Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Presión de Saturación (KPa)
1	18	2.064
2	18	2.064
3	35	0.872
4	35	5.628
5	35	5.628
6	75	5.628

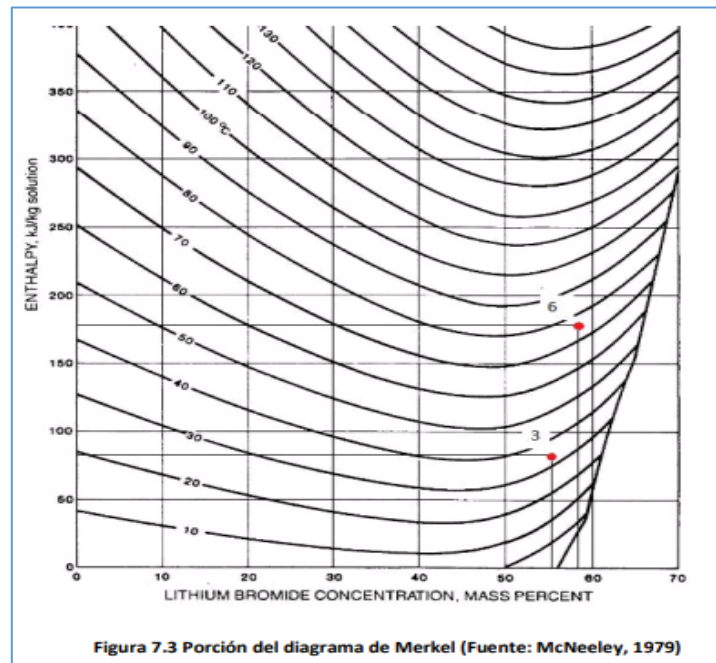
Fuente: propia.

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m³/kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg · K		Temp. °C
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. v_g	Líquido sat. u_f	Vapor sat. u_g	Líquido sat. h_f	Vapori- zación h_{fg}	Vapor sat. h_g	Líquido sat. s_f	Vapor sat. s_g	
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	.01
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514	4
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257	5
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003	6
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501	8
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008	10
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765	11
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524	12
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285	13
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048	14
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814	15
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582	16
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351	17
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123	18
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897	19
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672	20
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450	21
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229	22
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011	23
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794	24
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580	25
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367	26
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156	27
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946	28
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739	29
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533	30
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329	31
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127	32
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927	33
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728	34
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531	35
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336	36
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950	38
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570	40
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648	45

Tabla 7.2. Propiedades termodinámicas del agua saturada. Tabla de temperaturas (Fuente: [3])



Observando el diagrama se observa las concentraciones de la disolución en los puntos 3 y 6 siendo esta 55% y 58% respectivamente. Con estos datos nos introducimos en el diagrama de Merkel.



En función a ello, se tiene en la tabla, el resumen de los valores de entalpia en cada uno de los puntos de ingreso y salida de los elementos del sistema de refrigeración por absorción.

Tabla 14. Entalpía en estado termodinámicos.

Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/Kg)
1	18	75.58
2	18	2534.4
3	35	81
4	35	2565.3
5	35	146.68
6	75	177
7	41	112

Fuente: Tablas de Vapor de agua

Balance de Energía para determinación de flujos máscicos.

En el evaporador.

Calor desde el interior de la cabina de la retroexcavadora = Calor que absorbe el evaporador.

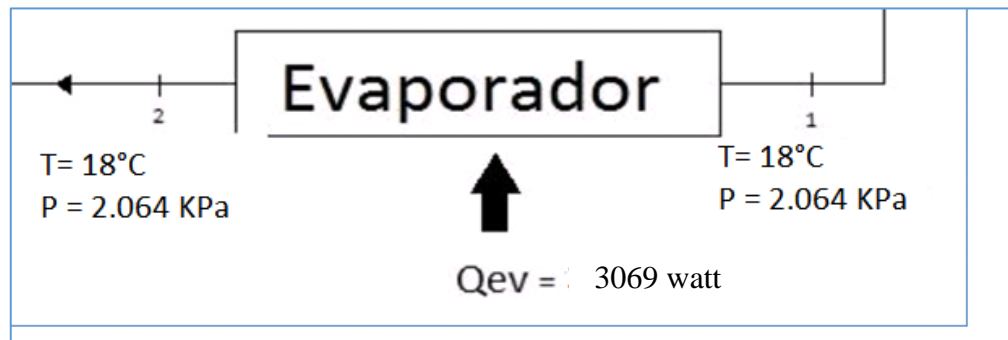


Figura 14. Evaporador.

El flujo de calor en el interior de la cabina es de 3069Watt, y el calor que absorbe el evaporador es la razón entre el flujo máscico del agua por la diferencia de entalpías al ingreso y salida del evaporador, en el cual se tiene:

$$We = \dot{m}t \cdot (h_2 - h_1)$$

Despejando, se tiene.

$$\dot{m}t = \frac{We}{h_2 - h_1} = \frac{3069}{2489.6 - 75.58} = 0.0016 \text{ Kg/s}$$

A continuación, realizando un balance de masa y sabiendo que la concentración a la salida del absorbedor por su flujo máscico es igual que la concentración a la salida del absorbedor por su flujo máscico:

$$C_a \cdot \dot{m}_{sa} = C_g \cdot \dot{m}_{sg}$$

$$\dot{m}_{sa} = \dot{m}_{sg} + \dot{m}_t$$

$$\dot{m}_{sg} = \frac{C_a * \dot{m}_t}{C_g - C_a}$$

$$\dot{m}_{sg} = \frac{0.58 * 0.0016}{0.58 - 0.55} = 0.03 \text{ Kg/s}$$

Y el valor de masa = $0.03 + 0.0016 = 0.0316 \text{ Kg/s}$

Determinación de los calores en cada elemento del circuito.

Calor en el absorbedor.

$$\dot{W}_{abs} = \dot{m}_t \cdot h_2 + \dot{m}_{sg} \cdot h_7 - \dot{m}_{sa} \cdot h_3$$

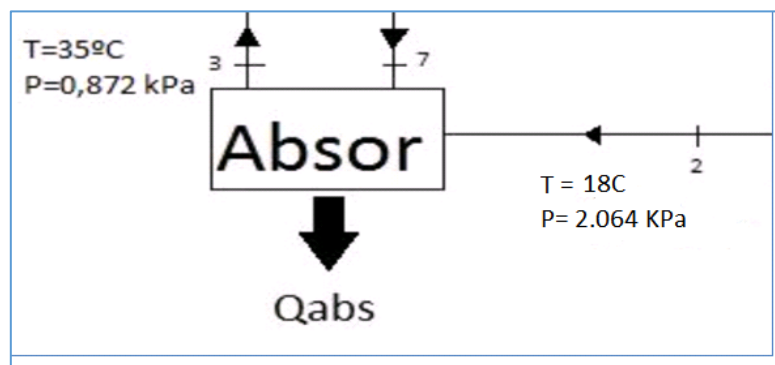


Figura 15. Absor.

Tabla 15. Termodinámico.

Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/Kg)
2	18	2534.4
3	35	81
7	41	112

Fuente: propia.

$$\dot{m}_t = 0.0016 \text{ Kg/s.}$$

$$\dot{m}_{sa} = 0.0316 \text{ Kg/s}$$

$$\dot{m}_{sg} = 0.03 \text{ Kg/s}$$

Reemplazando, se tiene:

$$\dot{W}_{abs} = 0.0016 * 2534.4 + 0.03 * 112 - 0.0316 * 81 = 4850 \text{ Watt.}$$

Es decir, se requiere en el absorbedor la transferencia de 4850 Watt de potencia térmica.

Calor en el generador.

$$\dot{W}_{gen} = \dot{m}_t \cdot h_4 + \dot{m}_{sg} \cdot h_6 - \dot{m}_{sa} \cdot h_3$$

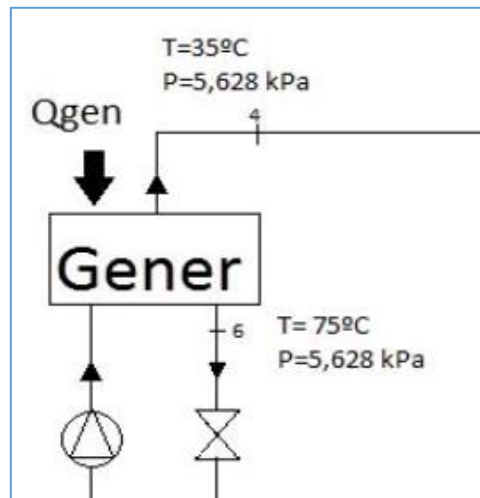


Figura 16. Q_{gen} .

Tabla 16. Termodinámica.

Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/Kg)
3	35	81
4	35	2565.3
6	75	177

Fuente: propia.

Reemplazando, se tiene:

$$W_{gen} = 0.0016 * 2565.3 + 0.03 * 177 - 0.0316 * 81 = 6850 \text{ Watt.}$$

6850 Watt, es el flujo de calor que se requiere obtener de la energía solar a través de un colector solar ubicado en el techo de la cabina de la retroexcavadora.

Calor en el condensador.

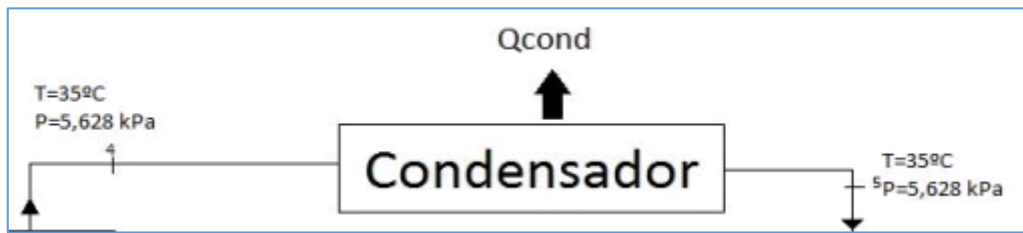


Figura 17. Condensador

Tabla 17: Termodinámica.

Estado Termodinámico	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/Kg)
4	35	2565.3
5	35	146.68

Fuente: propia.

Reemplazando, se tiene:

$$W_{con} = 0.0016 * 2565.3 - 0.0016 * 146.68 = 3869 \text{ Watt}$$

3.4 Diseñar el colector solar (generador) del sistema de aire acondicionado por absorción.

El colector solar (Generador) es el que entrega energía calorífica al sistema para el accionamiento del sistema de aire acondicionado por absorción, ubicado en el techo de la cabina de la retroexcavadora. De acuerdo al análisis térmico en el ítem 3.3. se determinó que el calor que se requiere $Q_{gen} = 6850 \text{ Watt}$.

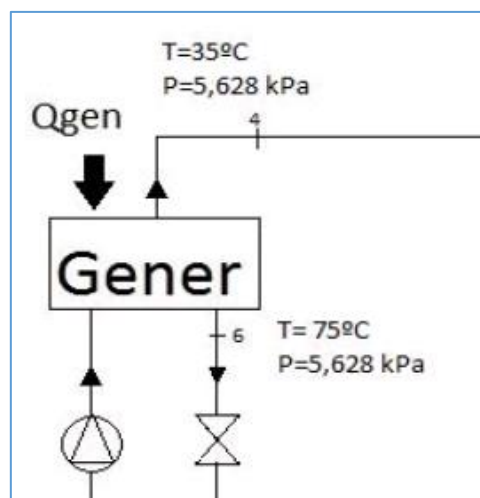


Figura 18. Gener.

Así mismo, el colector de energía solar, es un dispositivo, en el cual el captador de la radiación solar es por medio de unas planchas de aluminio, y que para incrementar la cantidad de calor que absorbe, las planchas de aluminio son corrugadas.

El formato de planchas de aluminio de 0.7 mm de espesor es de 1.60 por 0.90 metros, ($1.6 * 0.9 = 1.44 \text{ m}^2$), que es área disponible en el techo de la cabina de la retroexcavadora, y que será el área del colector solar.

Calor captado por el colector solar.

El flujo de calor que capta el colector solar, está en función al valor del potencial de radiación solar, el cual fue determinado en el ítem 3.2, con un valor de mayor probabilidad de ocurrencia del nivel de radiación solar es de 67% y será de un valor de 5.68 Kw-h/m².

$$Q_c = Q_d * A_c$$

Dónde:

Q_c: Calor que capta el colector.

Q_d: Calor disponible en el entorno.

A_c: Área total del colector solar.

Reemplazando valores, se tiene:

$$Q_c = 5680 \text{ Watt} - \text{h/m}^2 * A \text{ m}^2$$

Determinación del área del colector solar.

La cantidad de calor que requiere el colector solar (absolvedor), determinado en el ítem 3.3 es de 6850 Watt. Igualando la cantidad de calor en el periodo de una hora, que capta el colector y la cantidad de calor que requiere transferir el colector solar hacia el absolvedor del sistema, se tiene:

$$Q_c = Q_{abs}$$

$$5680 * A = 6850 + \text{Pérdidas de calor en el colector solar}$$

$$5680 * A = 6850 + P_c$$

La determinación de las Pérdidas P_c, se determinan, de acuerdo a la configuración del colector solar, en el cual el calor es absorbido por dos placas paralelas de vidrio, con un espacio entre ambas placas para generar una zona caliente entre placas, a fin de que se genere un flujo de aire caliente entre dichas placas de vidrio.

En la figura, se observa que la energía calorífica irradiada por el sol, tiene tres eventos, que es la reflexión, la absorción y la transmisión en cada una de las placas de vidrio.

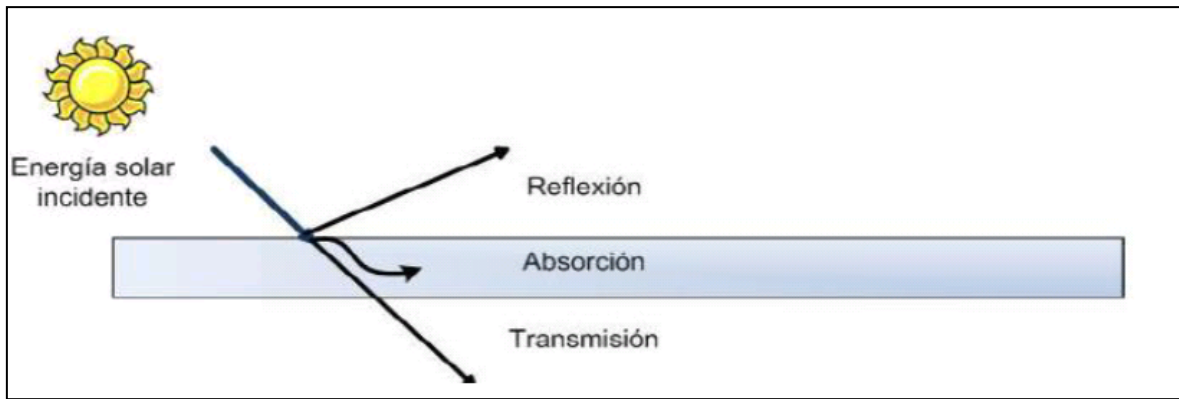


Figura 19. Energía solar incidente.

La suma de los tres procesos de transferencia de calor en las placas de vidrio: Reflexión, la absorción y la transmisión, es la cantidad de calor captado por las placas de vidrio. $A + R + T = 100\%$.

Dónde:

A: Porcentaje de calor captado por absorción.

B. Porcentaje de calor captado por Reflexión.

C: Porcentaje de calor captado por transmisión.

En el proceso de la primera placa de vidrio, el cual posee hierro en su composición, tiene un porcentaje de reflexión de calor de 8%, y un porcentaje de absorción de 8%, por lo tanto, la cantidad de calor que transporta hacia la siguiente placa de vidrio, será la diferencia, es decir $100 - 8 - 8 = 84\%$.

Es decir, el 84% de la cantidad de calor captada por la placa de vidrio, $0.84 \cdot Q_c$, éste será el calor que llegará a la segunda placa de vidrio.

De la misma forma, la segunda placa de vidrio tiene un porcentaje de reflexión de 7% y un porcentaje de absorción de 8%, es decir la cantidad de calor que logra transportar la segunda placa de vidrio será el 84%, del calor que incide en ésta placa, es decir $0.84 \cdot (0.84) = 0.7056$; en porcentaje el calor que no se logra transferir hacia el colector solar es $1 - 0.7056 = 0.2944$; el 29.44%

Luego, reemplazando los valores se tiene:

$$5680 \cdot A = 6850 + \text{Pérdidas de calor en el colector solar}$$

$$5680 A = 6850 + 0.2944 (6850)$$

$$5680 A = 8754.3$$

$$A = 8754.3/5680 = 1.54 \text{ m}^2$$

Adaptando a las dimensiones del techo de la cabina, sabiendo que el techo de la cabina será de forma rectangular. Según las dimensiones del techo, éste es de 2.00 metros de ancho de la cabina y 0.90 metros de largo. Para el diseño se requiere de una área del colector de 1.54 m²; por lo tanto, las dimensiones serán:

Largo: 0.80m

Ancho: a

Al ser de forma rectangular; se determina el ancho a:

$$A = L * a, \text{ despejando } a$$

$$a = 1.54 \text{ m}^2 / 0.80$$

$$a = 1.92 \text{ m}$$

Las dimensiones del colector serán de 0.80 metros de largo y 1.92 metros de ancho. El ancho que presenta la cabina es de 2.10 metros, por lo tanto, el colector solar si alcanza en el techo de la cabina de la retroexcavadora.

Transferencia de calor en colector solar

El área que se requiere del colector solar es de 1.54 m², de 0.80m de largo y 1.90m de ancho, el cual entrega el calor hacia el generador del sistema de aire acondicionado por absorción; para el diseño se toma el valor encontrado en el ítem 3.2 del potencial de radiación solar, que por el método estadístico de weillull se determinó un valor de 5.68 KW-h/m², con una probabilidad del 67%.

El colector es de placas planas, y está formado con placa de absorción de Aluminio y una plancha de vidrio en la cubierta. Sus características son:

Especificaciones técnicas de colector solar

Área del colector	: $a_c = 1.54 \text{ m}^2$
Número de planchas de vidrio	: $n = 1$
Espesor de la plancha de vidrio	: $l = 0,005 \text{ m (5mm)}$
Coefficiente de absorción del vidrio	: $k_a = 3,0 \text{ m}^{-1}$
Absorbencia de la plancha	: $\alpha = 0,95$
Espesor de la plancha colector	: $d = 0.0015 \text{ m}$
Temperatura de entrada del fluido	: $t_f = 35 \text{ }^\circ\text{C (308k)}$
Temperatura media del colector	: $t_p = 75 \text{ }^\circ\text{C (348 k)}$ (temperatura de trabajo)
Inclinación del colector	: $\beta = 12^\circ$ ángulo de incidencia de radiación solar.

3.5 Realizar una evaluación económica, utilizando indicadores tales como VAN, TIR, relación Beneficio- Costo.

3.5.1. Costo del proyecto

El proyecto en mención, se aplica a retroexcavadoras que no tienen el sistema de aire acondicionado instalado, por lo tanto, se realiza la instalación de cada uno de los elementos del sistema.

Tabla 18. Costo de la inversión.

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
1	Colector Solar 1.92*0.80, con planchas de aluminio 7mm	unidad	1	1450	650
2	Condensador	unidad	1	830	530
3	Absorbedor	metros	40	670	470
4	Evaporador	unidad	1	1200	600
5	Cañerías de cobre 1/4"	metros	20	10	400
6	Soporte metálico (Angulo 1/4")	conjunto	1	280	280
7	Mano de obra	unidad	1	560	560
	Total				2890

Fuente: Guía de Observación.

3.5.2 Ingresos económicos del proyecto.

La cuantificación de los ingresos del proyecto está en función al ahorro que se tiene, si se utilizara el sistema de aire acondicionado con compresión de vapor, en el cual, el motor consume entre el

15 y 20% más de combustible en su operación.

El consumo diario de esta maquinaria es de 10 litros por hora, para condiciones normales de funcionamiento, es decir que, si se utilizara el sistema de aire acondicionado durante tres horas diarias, el consumo de combustible adicional es de $3 \times (0.2 \times 10) = 6$ litros en un día (1.58 Galón), para un consumo mensual (operación de 20 días) de 31.74 galones de petróleo al mes. Teniendo en cuenta el precio de 11.50 por galón, se tiene un ahorro mensual de $31.74 \times 11.50 = 365.79$ Soles al mes.

3.5.3 Egresos del proyecto.

Costo de Mantenimiento.

Para el caso del costo de mantenimiento preventivo, que consiste en la limpieza, verificación de elementos, ajuste de los accesorios, entre otros, representan el 5% Anual del costo de la inversión del proyecto, es decir $0.10 \times 2890 = 289$ Soles Anuales, que representan $253.6/12 = 24.08$ Soles mensuales.

3.5.4 Flujo de caja del proyecto.

El flujo de caja se realiza con todos los ingresos, egresos e inversión inicial del proyecto, se analiza en el tiempo de 12 meses, debido a que es un proyecto de corto plazo, tal como se detalla en la tabla.

Tabla 19. Flujo de la caja del proyecto de inversión.

Mes		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión Inicial (S/.)		2890												
Ingresos (S/.)			365.8	365.8	365.8	365.8	365.8	365.8	365.8	365.8	365.8	365.8	365.8	365.8
Egresos (S/.)	Costo de Mantenimiento		24.08	24.08	24.08	24.08	24.08	24.08	24.08	24.08	24.08	24.08	24.08	24.08
Utilidad: Ingresos - Egresos (S/.)			341.7	341.7	341.7	341.7	341.7	341.7	341.7	341.7	341.7	341.7	341.7	341.7

Fuente: Propia.

3.5.5 Análisis con indicadores económicos.

Valor actual neto

Los valores de los ingresos y egresos mensuales, llevándolas al mes cero, donde se inicial el proyecto, con una tasa de interés del 18% Anual, que es la tasa de interés para proyectos de inversión del sector privado. Esta tasa es para proyectos de inversión de corto plazo. La tasa de 18% anual, es equivalente a una tasa de 3.0 % mensual.

Utilidad actualizada al tiempo 0:

$$Ia = \frac{In * [(1 + i)^n - 1]}{[i * (1 + i)^n]}$$

Dónde:

Ia: Utilidad actualizada al mes 0.

In: Utilidad Mensual (Ingresos – Egresos): S/. 341.7

i: Tasa de Interés: 3.0% Mensual

n: Número de Meses: 12

Reemplazando valores, para lo cual utilizamos el comando VAN, del Software Microsoft Excel.

Tabla 20. *Cálculo del valor actual neto.*

Mes		0	1	2	10	11	12
Inversión Inicial (S/.)		2890					
Ingresos (S/.)			365.8	365.8	365.8	365.8	365.8
Egresos (S/.)	Costo de Mantenimiento		24.08	24.08	24.08	24.08	24.08
Utilidad: Ingresos - Egresos (S/.)			341.7	341.7	341.7	341.7	341.7

VAN (0.03,G10:R10)

S/. 3,401.38

Fuente: Propia.

Se obtiene: $Ia = S/. 3401.38$

Por lo tanto, el valor actual neto es la diferencia entre la utilidad actualizada del proyecto (Ia) y el valor de la inversión: $3401.38 - 2890 = S/. 511.38$

Tasa interna de retorno

Para calcular la tasa interna de retorno, se determina haciendo que los ingresos actualizados con una tasa de interés a determinar son igual a la inversión inicial del proyecto.

$$Inv = \frac{Ia * [(1 + TIR)^n - 1]}{[TIR * (1 + TIR)^n]}$$

Dónde:

Inv: Inversión Inicial S/. 5358

Ia: S/. 341.7 de Utilidades Mensuales

TIR: Tasa Interna de Retorno.

n; Número de meses: 12

Tabla 21. Cálculo de la tasa interna de retorno.

Mes		0	1	2	10	11	12
Inversión Inicial (S/.)		2890					
Ingresos (S/.)			365.8	365.8	365.8	365.8	365.8
Egresos (S/.)	Costo de Mantenimiento		24.08	24.08	24.08	24.08	24.08
Utilidad: Ingresos -Egresos (S/.)		-2890	341.7	341.7	341.7	341.7	341.7
							TIR(F10:R10)
							5.84%

Fuente: Propia.

Reemplazando valores, y mediante una metodología de aproximaciones o utilizando el software Microsoft Excel, se calcula el valor del TIR, siendo este igual a 5.84% mensual, que representa un valor superior a la tasa de interés mensual que oscila al 3.0% mensual.

Relación beneficio costo

La relación beneficio / costo está dado por:

$B/C = \text{Utilidades Actualizadas al mes 0} / \text{Inversión inicial del Proyecto}$

Reemplazando valores: $3401.38/2890$, es de 1.17

La amortización mensual por el pago del préstamo a una entidad Bancaria de 2890 Soles, se realiza el análisis financiero para el periodo de 12 meses, en el cual la cuota fija mensual de pago del préstamo es de 264.96 Soles:

Tabla 22. *Relación beneficio costo.*

MESES	INTERESES	AMORTIZACIÓN S/.	PAGO TOTAL S/.	SALDO PENDIENTE S/.
0			0	2890
1	43.35	221.61	264.96	2668.39
2	40.03	224.93	264.96	2443.47
3	36.65	228.30	264.96	2215.16
4	33.23	231.73	264.96	1983.43
5	29.75	235.20	264.96	1748.23
6	26.22	238.73	264.96	1509.50
7	22.64	242.31	264.96	1267.19
8	19.01	245.95	264.96	1021.24
9	15.32	249.64	264.96	771.60
10	11.57	253.38	264.96	518.22
11	7.77	257.18	264.96	261.04
12	3.92	261.04	264.96	0.00

Fuente: Propia.

IV. DISCUSIÓN

En los sistemas de refrigeración por absorción, la fuente de energía calorífica es la energía externa que ingresa al sistema, por lo cual su aprovechamiento óptimo es el principal estudio que se realiza, en este caso se analiza los niveles de radiación solar en la zona de influencia del proyecto.

Los elementos del sistema de refrigeración por absorción son los mismos que en el sistema de compresión de vapor, excepto por el uso del compresor, en el sistema de refrigeración por absorción utiliza el generador, como el elemento que capta el calor a través de un dispositivo colector de calor, el cual intercambia energía con el fluido de trabajo, es decir con la mezcla agua y bromuro de litio.

Los costos del sistema, son de instalación y de mantenimiento, no generan costos adicionales de combustible, por lo tanto, el sistema de refrigeración por absorción no sólo contribuye a reducir los costos operativos sino también a la no emisión de gases de combustión, debido a que, si se utiliza un sistema de refrigeración por compresión de vapor, éste consume más combustible y por ende mayor emisión de dióxido de carbono hacia el medio ambiente.

V. CONCLUSIONES

- En el análisis de las cargas térmicas en el interior de las cabinas de la retroexcavadora se determinó que se requiere de 3069 Watt térmicos que se debe extraer desde el interior de la cabina, su equivalente a 10471 BTU/hora.
- Mediante el análisis probabilístico de Weibull, se determinó un valor de 5.68 KW-h/m² de nivel de radiación solar, con un nivel de ocurrencia del 67%, entre las 09.00 y 15.00 horas del día, que son las horas de uso del sistema de aire acondicionado, debido a que las temperaturas máximas en la estación de verano oscilan entre los 34° Centígrados. Dicho valor se utiliza para el dimensionamiento del sistema.
- Se hizo el análisis termodinámico de cada elemento del sistema por absorción; el calor en el evaporador es el calor extraído del interior de la cabina de 3069 Watt, el calor en el absolvedor es de 4850 Watt de potencia térmica. El calor que se requiere en el generador es de 6850 Watt y es el calor que se obtiene en el colector solar ubicado en la parte superior de la cabina de la retroexcavadora, y el calor en el condensador es de 3869 Watt que se disipa al exterior.
- Se hizo el dimensionamiento del colector solar de placa plana, el cual capta los niveles de radiación solar, ubicado en la parte superior de la cabina. Las dimensiones del colector son de 0.80 metros de largo y 1.92 metros de ancho.
- El análisis económico determinó que el valor de la inversión asciende a 2890 Soles, y en el periodo de 12 meses se tiene un valor actual neto de 511,38 y una tasa interna de retorno de 5.84%, valores que hacen factible la ejecución del proyecto.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar el análisis de la captación del calor del sistema de refrigeración del motor, es decir que la fuente de energía para el sistema de refrigeración por absorción sea la energía calorífica del agua del radiador.
- Utilizar materiales de alta conductividad térmica, capaz de captar el calor en el colector.
- Realizar el circuito con alto índice de hermeticidad, a fin de evitar fugas, los cuales ocasionarían que el sistema funcione con deficiencias, debido a la pérdida de fluido de trabajo.

REFERENCIAS

- **BALERIO, Cesar.** Equipamiento de los cargadores frontales en el Perú. Lima, Perú, 2016, 39pp.
- **BARANIUK, Chris.** La contaminación del planeta con los sistemas de aire acondicionado. México, 2017, 34pp.
- **FLORES, Jesús.** Diseño De Un Sistema De Aire Acondicionado Con Energía Solar Para Climatizar El Laboratorio De Servconsa – Trujillo, 2016, 78pp.
- **GONZÁLEZ, Pablo.** Propuesta de un sistema de refrigeración por absorción para la climatización del edificio administrativo de la termoeléctrica de Felton. Facultad de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Cuba, 2014, 88pp.
- **HURTADO, Roberto.** Sistemas de aire acondicionado en maquinaria pesada. Colombia, 2016, 56pp.
- **KOO, Wilder.** Accesorios de equipos de aire acondicionado de fabricación china. Brasil, 2015, 32pp.
- **MATARAZZO, Matías.** Refrigeración local de vehículos con calor excedente, presentado a la escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación universidad de cantabria, 2014, 68pp.
- **PEREZ, Rosario.** Implementos de maquinaria pesada para el sector agrícola de México, 2016, 32pp.
- **TWENERGY, A.** Energía Solar como fuente de generación eléctrica. Colombia, 2015, 67pp.

ANEXOS

INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	-----------	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)	X		
b) Experiencia como profesional. (EP)	X		
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)		X	
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	X		

Firma del entrevistado

Pedro Demetrio Reyes Tassara
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
CIP. 88259



Anexo 01 catálogos de refrigeración

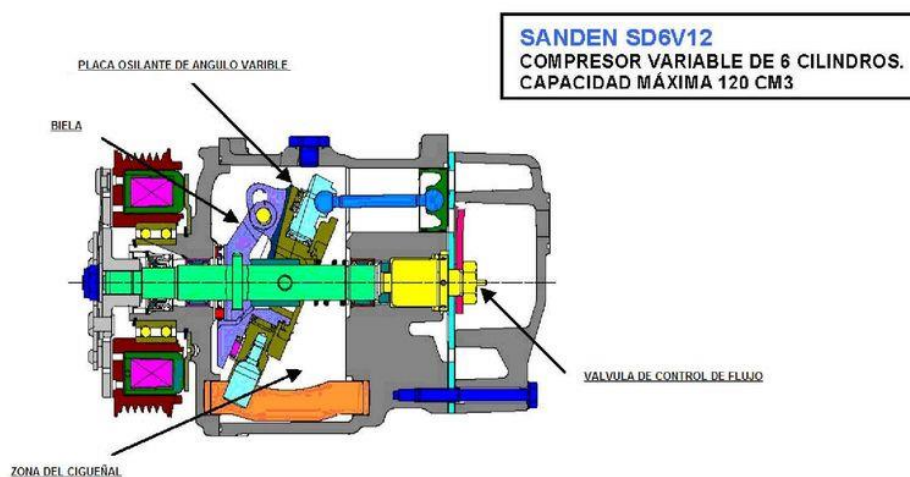
Climatización para Aplicaciones Móviles



Compresores de Desplazamiento Variable

Debido a las continuas exigencias de la industria automotriz por conseguir componentes que aseguren en los vehículos una marcha más suave, un menor consumo de combustible y mayor eficiencia en el funcionamiento de los equipos de aire acondicionado los proveedores de compresores desarrollaron los "Compresores de desplazamiento variable".

Estos compresores poseen muchos de sus elementos iguales a los de los compresores tradicionales, la gran diferencia surge al momento de analizar el sistema de movimientos internos. Ambos tipos poseen un plato oscilante (wooble plate) que es el encargado de transferir el movimiento en los pistones, la diferencia entre ambos es que en el de volumen fijo, el ángulo de este plato no varía mientras que en el de volumen variable, el ángulo del mismo es comandado mediante la diferencia de presión que regula la válvula de control. Este último elemento es el corazón del compresor.



Compresores fijos versus variables

Desventajas de la utilización de compresores fijos:

- Para evitar la formación de hielo en el evaporador se debe hacer trabajar al compresor de manera cíclica mediante el empleo de un termostato o presostato ciclador.
- Se alcanza una temperatura promedio en la salida del aire con una variación en mas o menos de 5 °C debido al ciclado del compresor.
- Esfuerzos cíclicos sobre el motor debido al acople y desacople

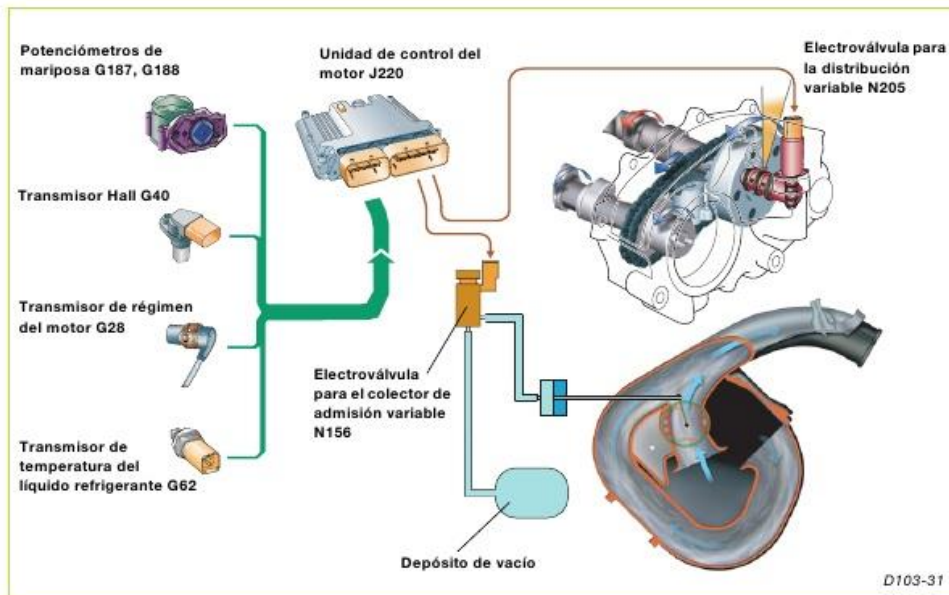
del compresor. Se llega a absorber hasta 4 HP en el instante del acople.

- Variación de las prestaciones del motor según sea la velocidad del mismo.

Los compresores variables introdujeron las siguientes mejoras:

- Funcionamiento continuo del compresor mientras que el equipo de aire acondicionado esté funcionando.
- No se utiliza mas el termostato para evitar la formación de hielo.
- Presión de succión constante a cualquier régimen de vueltas del compresor y

DISTRIBUCIÓN Y ADMISIÓN VARIABLE



Estos dos sistemas son conocidos por su utilización en otras mecánicas, aportando pocas novedades, aunque sí es de resaltar la combinación de funcionamiento de ambos sistemas.

ADMISIÓN VARIABLE

La unidad del motor gobierna el colector de admisión variable mediante la electroválvula N156. En reposo, el colector de admisión se encuentra en el recorrido corto.

El parámetro que tiene en cuenta la unidad para el **control del colector de admisión variable** es exclusivamente **las revoluciones del motor G28**.

Así, en **regímenes inferiores a las 4.000 revoluciones**, la unidad excita la electroválvula N156 conmutando al **recorrido largo**.

En los **regímenes superiores** la unidad interrumpe la excitación a la electroválvula N156, conmutando al funcionamiento en **recorrido corto** del colector.

DISTRIBUCIÓN VARIABLE

La distribución variable sólo actúa sobre el **árbol de levas de admisión**. La unidad de con-

trol utiliza la señales de la carga G187/188, revoluciones G28, y la temperatura del motor G62 para calcular el avance deseado, y la señal del transmisor Hall G40 para reconocer el avance real.

Con **bajas cargas y revoluciones** la unidad excita con una baja proporción de periodo a la electroválvula N205, provocando una **apertura tardía** de las válvulas de admisión (aproximadamente 24° después del PMS). Al aumentar la carga y las revoluciones se avanza la apertura hasta superarse el PMS del cilindro.

Al incrementarse el régimen por encima de las 4.000 revoluciones acontece la conmutación del colector al recorrido corto, por lo que se retrasa en aproximadamente 10° la apertura de las válvulas de admisión.

Por último, se retarda nuevamente hasta el valor máximo (24° después del PMS) al aumentar la carga, las revoluciones y además producirse la apertura total de las chapaletas V157.

1. Encender el motor. Conectar las distintas potencias de ventilación. ¿Funciona la ventilación?

Sí



3. Temperatura en máx. potencia de refrigeración

¿Está activado el embrague electromagnético?

Sí



continuar en el punto 5

No

2.

- Comprobar el fusible
- Comprobar relés, interruptores y el cableado de todas las piezas

5. Encender la instalación a potencia máx. de refrigeración y dejar funcionando durante varios minutos en el nivel medio de ventilación; temperatura de salida del aire en la tobera media 3-8 °C.

Sí



7. Comprobar baja presión (BP) y alta presión (AP) a 2000 – 2500 min⁻¹: BP: 0,5 – 3,0 bar AP: 6,0 – 25,0 bar en compresores con potencia regulada: BP: aprox. 2 bar, constante

Sí



Aire acondicionado
correcto

No

6.

Si la temperatura de salida es demasiado elevada:

- ¿Está apagada la calefacción?
- ¿El filtro del habitáculo se encuentra en buen estado?
- Comprobar el sensor/interruptor de temperatura, termostato (si lo lleva)
- Comprobar válvulas de ventilación, de la calefacción, ventilación del condensador

No

8.

véase tabla de búsqueda de fallos